



**Sara Sousa Pedro Goulart Rocha**

Licenciada em Engenharia Geológica

## **Caracterização de Sistemas Hidrotermais de Baixa Entalpia na Ribeira Grande, Ilha de S. Miguel, Açores**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Geológica - Georrecursos

Orientador: Prof. Doutor Joaquim Simão, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Co-orientador: Prof. Doutor António Trota, Professor Auxiliar, UAC

### **Júri:**

Presidente: Prof. Doutor José António de Almeida

Arguente (s): Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes

Prof. Doutor Alcino de Sousa Oliveira

Vogal (ais): Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão

Prof. Doutor António Neves Trota



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Junho 2011**



Caracterização de sistemas hidrotermais de baixa entalpia na Ribeira Grande, Ilha de S. Miguel,  
Açores

Copyright © Sara Sousa Pedro Goulart Rocha

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de outra forma digital, ou por qualquer meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua própria cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que me ajudaram a realizar a minha dissertação, desde os que me auxiliaram nos trabalhos manuais até aqueles que me deram apoio psicológico.

Um obrigada:

- Aos meus pais, António Paulo e Ângela, agradeço muito todo o esforço que fizeram ao longo destes anos de estudo e principalmente pela força e dedicação que demonstraram ao longo desta minha dissertação;
- À minha irmã Isabel pelas horas infindáveis que ficou a trabalhar comigo no campo e que dedicou para me ajudar.
- Ao meu namorado, Genádio pela força, dedicação e apoio durante todas as fases deste trabalho. Obrigada;
- Aos meus orientadores, Professor Joaquim Simão e Professor António Trota, pela dedicação e apoio que me consentiram durante as diferentes fases;
- Aos meus amigos e familiares que me ajudaram no trabalho prático, que estiveram horas comigo no campo aquando da realização dos furos e respectivas medições: Vasco, Tio Simas, Padrinho João Vasco, Joana, Tiago, Ivo, Jacob, Duarte, Tomás, Maria João, Fátima e Manuel Henrique;
- A todos que me ajudaram e forneceram material de campo e de escrita: Tio Rui, Tio Humberto, João Paulo, Primo Ernesto, Sr. Artur e Sr. Carlos;
- Aos meus professores da Faculdade de Ciências e Tecnologia que me ajudaram a desenvolver alguns pontos nos softwares utilizados, Professora Graça Brito e Professor José António Almeida;
- A todos os meus colegas e amigos da faculdade e da Ribeira Grande que me ajudaram ao longo destes anos de curso e ao longo desta dissertação, em especial à Filipa e Tatiana.



## **Resumo**

A cidade da Ribeira Grande, Ilha de S. Miguel, tem uma forte componente geotérmica, tanto de baixa entalpia, águas termais e fumarolas, como de alta entalpia através das duas centrais geotérmica com um total de produção de 23MWe. Este forte componente geotérmico deve-se ao complexo vulcânico do Fogo, responsável por vários fenómenos vulcânicos e geotérmicos desta região.

Este trabalho teve como principal objectivo a avaliação das temperaturas do subsolo nas imediações da cidade da Ribeira Grande, com o propósito de identificação de zonas com temperaturas anómalas, de modo a localizar eventuais reservatórios geotérmicos.

No primeiro capítulo é feita uma descrição da evolução da geotermia e das suas possíveis utilizações, fazendo-se referência aos sistemas e classificação da geotermia. O segundo capítulo apresenta o cenário da alta, baixa entalpia no mundo, assim como as aplicações da geotermia e os respectivos países que a desenvolvem.

O caso de Portugal será apresentado no terceiro capítulo, onde se descreve a situação da energia geotérmica em Portugal, quais as utilizações de baixa entalpia, dando alguns exemplos de Portugal continental e arquipélagos da Madeira e dos Açores.

No quarto capítulo desenvolve-se a metodologia adoptada para a recolha dos dados de campo (temperaturas do subsolo) e apresentam-se os resultados, onde constam as temperaturas medidas durante as várias etapas do trabalho, assim como a geoestatística baseada na temperatura média e também as componentes que influenciaram as temperaturas medidas ao longo do trabalho de campo. Ainda neste capítulo, tendo por base uma eventual exploração dos recursos geotérmicos de baixa entalpia existentes nas proximidades da superfície terrestre, serão propostos alguns cenários de utilização da geotermia na zona de estudo.

O último capítulo é composto pelas considerações finais, onde se apresentam algumas propostas para o melhor aproveitamento da geotermia de baixa entalpia no concelho da Ribeira Grande.

**Palavras-Chave:** Geotermia, Baixa Entalpia, Temperatura, Ribeira Grande





## **Abstract**

The area of Ribeira Grande, S. Miguel island, has a huge geothermal potential field, not only in low-enthalpy (spring thermal waters, fumaroles and spa's), but also high-enthalpy, with two geothermal power plants, producing a total of 23 MWe. The “Complexo Vulcânico do Fogo” originated this geothermal potential field, where his stratovolcano is responsible for volcano and geothermal manifestations.

This work had as main goal the assessment of subsurface temperatures in Ribeira Grande area, with the aim of identifying areas of high temperatures, in order to locate potential geothermal field.

After the literature search on geothermal occurrences in this region, in approach of the experimental field work was defined a grid of 200 points (250x250 m) to do a low deep mechanic prospection, then was measured the subsurface temperatures (one measure for dry temperature and four measures of the subsurface, using a conductive liquid).

In the first chapter is made a description of geothermal evolution, the uses of geothermal energy and their systems and classifications. The second chapter presents the cases of high and low-enthalpy in the world, specifying the countries and their uses in the field of geothermal energy.

The Portugal case will be presented in third chapter, which describes the situation of geothermal energy, giving some examples of mainland, Madeira and Azores.

The fourth chapter explains the fieldwork methodology (the measurement of subsurface temperatures) and presents the results, which contains the measured temperatures during the various stages of work, as well as geostatistics based on average temperature and also the components that influence the measured temperatures along the fieldwork. Also in this chapter are proposed some scenarios of the possible uses of geothermal energy for the study area.

The last chapter consists on the concluding remarks and some proposals for better utilization of low-enthalpy geothermal energy in Ribeira Grande.

**Key-words:** Geothermal, Low Enthalpy, Temperatures, Ribeira Grande



## Índice

1. Introdução .....	1
1.1. Breve História da Geotermia .....	4
1.2. Classificação dos Recursos Geotérmicos .....	6
1.3. Aplicações da Geotermia .....	8
2. Geotermia no Mundo .....	11
2.1. Utilizações Mundiais.....	16
3. Geotermia em Portugal.....	19
3.1. Utilizações em Portugal Continental.....	19
3.2. Utilizações na Madeira.....	23
3.3. Utilizações nos Açores .....	23
3.3.1. Utilização em S. Miguel.....	25
3.3.1.1. Utilizações no Campo Geotérmico da Ribeira Grande .....	27
3.3.1.1.1. Área Geotérmica da Caldeira Velha.....	28
3.3.1.1.2. Ladeira da Velha .....	30
3.3.2.1.3. Caldeiras da Ribeira Grande.....	34
4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo.....	37
4.1. Introdução .....	37
4.1.1. Localização da Área de Estudo .....	42
4.2. Metodologia .....	44
4.2.1. Material Utilizado .....	44
4.2.2. Procedimento Adoptado .....	45
4.2.3. Cronologia dos Trabalhos de Campo .....	48
4.2.4 Dificuldades Encontradas.....	48
4.3. Resultados e Tratamento de Dados .....	49
4.3.1. Dados de Estudos Anteriores .....	51
4.3.2. Dados Obtidos no Campo .....	52
4.3.2.1. Temperatura a Seco.....	53

4.3.2.2. 1ª Medição de Temperaturas .....	54
4.3.2.3. 2ª Medição de Temperaturas .....	56
4.3.2.4. 3ª Medição de Temperaturas .....	57
4.3.2.5. 4ª Medição de Temperaturas .....	58
4.3.2.6. Média das Temperaturas .....	59
4.3.3. Geoestatística .....	60
4.3.3.1. Análise Univariada.....	63
4.3.3.2. Variograma.....	65
4.3.3.3. Estimção por Krigagem.....	65
4.3.4. Discussão dos Resultados.....	70
4.3.4.1. Influência da Temperatura Ambiente e Precipitação .....	70
4.3.4.1.1. Dados do Instituto de Meteorologia .....	70
4.3.4.1.2. Dados do Trabalho de Campo .....	74
4.3.4.2. Influência da Geologia .....	77
4.3.4.3. Influência da Geologia Estrutural.....	88
4.3.4.4. Manifestações Antigas .....	90
4.3.5. Possíveis Utilizações da Geotermia .....	91
5. Considerações Finais.....	93
6. Bibliografia .....	97
6.1. Referências Bibliográficas .....	97
6.2. Sítios da Internet .....	100
Anexo I – Inventários dos furos executados no trabalho de campo (Localização geográfica e Temperatura a seco) .....	101
Anexo II – Base de dados das temperaturas medidas .....	107
Anexo III – Lista de ocorrências termais Portuguesas (e-geo, 2011).....	113

## Índice de Figuras

Figura 1.1 – Campo geotérmico da Ribeira Grande com a localização dos respectivos poços (PV1, CL1, CL2, CL3, CL4). GF representa o sistema de falhas do Graben; CF representa o sistema de falhas da caldeira; CGF representa o sistema de falhas do Congro. As linhas a cheio representam as falhas conhecidas e as linhas a tracejado representam possíveis falhas (Carvalho <i>et al</i> , 2006).....	4
Figura 1.2 – Vista geral das torres de arrefecimento de uma central geotérmica em Larderello, Itália (Swisseduc, 2011). .....	5
Figura 1.3 – Diagrama de Lindal (adaptado de Lindal, 1973). .....	9
Figura 1.4 – Fumarola onde se coze o milho. ....	10
Figura 1.5 – Furo onde se confecciona o cozido das Furnas.....	10
Figura 2.1 – Distribuição mundial de países com aproveitamento de energia geotérmica e a localização dos limites de placas tectónicas (Dickson e Fanelli, 2004). .....	11
Figura 2.2 – Caracterização do potencial geotérmico na Europa, nomeadamente o sistema EGS (Dumas, 2009). .....	12
Figura 2.3 – Capacidade instalada (esquerda) e energia produzida (direita) para a produção de electricidade e usos directos através da energia geotérmica para os diferentes continentes; Consideram-se “Americas” a América do Norte, do Sul e do Centro (Fridleifsson e Ragnarson, 2007). .....	13
Figura 2.4 – Capacidade instalada para a produção de electricidade em 2007 para os diferentes países (Bertani, 2007). .....	13
Figura 2.5 – Aplicações do uso directo da energia geotérmica por percentagem do total de energia utilizada no mundo em 2004 (Lund <i>et al.</i> , 2005). .....	15
Figura 2.6 – Crescimento mundial da aplicação das bombas de calor geotérmicas, assim como os países com maior número de aplicações de calor geotérmico (Lund <i>et al.</i> , 2005). .....	16
Figura 3.1 – Projecto das estufas de Chaves (Carvalho e Nunes, 2010). .....	20
Figura 3.2 – Interior da central geotérmica de S. Pedro do Sul (Gomes, 2010). .....	21
Figura 3.3 - Geotermia associada aos complexos vulcânicos na Ilha de S. Miguel (Amaral, 2008). .....	25
Figura 3.4 – Sistemas de aquíferos da Ilha de S. Miguel (Cruz, 2001). .....	26
Figura 3.5 – Campo geotérmico de alta entalpia da Ribeira Grande (Ponte, 2010). .....	27
Figura 3.6 – Manifestações geotérmicas nas freguesias da cidade da Ribeira Grande (adaptado de Freire, 2006 e IGM, 1999). .....	28

Figura 3.7 – Manifestações hidrotermais na zona da Caldeira Velha: a) Piscina da Caldeira Velha, b) fumarola da Caldeira Velha.....	29
Figura 3.8 – Casa de repouso em ruínas (2010). ....	31
Figura 3.9 – Termas da Ladeira da Velha em abandono (2010). ....	33
Figura 3.10 – a) Poça de água na Ladeira da Velha; b) Poça de água na Ladeira da Velha e a aproximação ao mar. ....	33
Figura 3.11 – a) Caldeira Grande; b) Fachada do edifício das termas das Caldeiras da Ribeira Grande. ....	36
Figura 4.1 – Enquadramento dos Açores no âmbito da tectónica de placas, o denominado ponto triplo onde confluem as placas da Eurásia, da Núbia e Norte Americana (Trotta, 2009). ....	38
Figura 4.2 – A zona de Cizalhamento dos Açores (Trotta, 2009). As ilhas constituem altos submarinos que se elevam acima do nível médio das águas do mar. Na figura estão também representadas a Crista Média Oceânica (CMA) e a Falha da Glória. ....	38
Figura 4.3 – Limites administrativos dos seis concelhos de S. Miguel (adaptado de CAOP, 2011). ....	39
Figura 4.4 – Limites administrativos das freguesias do concelho da Ribeira Grande (adaptado de CAOP, 2011). ....	39
Figura 4.5 – Distribuição dos complexos vulcânicos pela Ilha de S. Miguel (adaptado de Forjaz, 1984, in França et al., 2003). ....	40
Figura 4.6 – Delimitação da área de estudo na carta militar 1:25 000 (Zona da Ribeira Grande). ....	42
Figura 4.7 – Definição teórica da malha de implantação dos pontos de prospecção. ....	43
Figura 4.8 – Material de medição: a) Termómetro: <i>FLUKE 179 TRUE RMS MULTIMER</i> ; b) Termómetro: <i>Mini-K Thermometer</i> ; c) <i>GPS: N Drive Touch XL</i> . ....	44
Figura 4.9 – Ilustração do material de execução: a) Estaca; b) Martelo (“Maço”); c) Trado mecânico; d) Tubo PVC; e) Saca-rolhas; f) Sacho; g) Picareta; h) Funil; i) Luvas; j) Pá de jardinagem; k) Spray; l) Canivete; m) Rolhas. ....	45
Figura 4.10 – Ilustração do trabalho de campo: 1.a) A execução do furo com martelo, b) com trado; 2. Medição da temperatura a seco; 3. Marcação das coordenadas; 4. Enchimento do tubo; 5. Colocação do tubo; 6. Ajeitar a terra à superfície; 7. Medição com a fita-métrica; 8. Marcação da zona com o spray. ....	47
Figura 4.11 – Cronologia do trabalho de campo. ....	48
Figura 4.12 – Marcação dos pontos no <i>Google maps</i> . ....	50
Figura 4.13 – Localização dos pontos e área final do trabalho de campo. ....	51
Figura 4.14 – Classificação das temperaturas mediadas a seco em graus centígrados (°C). ....	53

Figura 4.15 – Classificação da primeira medição. As unidades estão representadas em graus centígrados (°C).....	55
Figura 4.16 – Distribuição das temperaturas da segunda medição (°C).....	57
Figura 4.17 – Classificação da temperatura da terceira medição (°C).....	58
Figura 4.18 – Distribuição das temperaturas da quarta medição (°C).....	59
Figura 4.19 – Classificação da média das temperaturas (°C). ....	60
Figura 4.20 – Representação de um variograma (Almeida, 2007).....	62
Figura 4.21 – Distribuição da variável média das temperaturas ao longo de toda a área de estudo delimitadas pelas seguintes coordenadas: mínimas (M=627858 m; P=4183058 m) e máximas: (M=634149 m; P=4189865 m).....	64
Figura 4.22 – Estatísticos da variável média das temperaturas. ....	64
Figura 4.23 – Variograma omnidireccional da variável Temperatura média.....	65
Figura 4.24 - Classificação do campo geotérmico da área sem os pontos das medições das temperaturas. ....	66
Figura 4.25 - Classificação do campo geotérmico da área com os pontos das medições das temperaturas. ....	67
Figura 4.26 - Isolinhas do campo geotérmico da área em estudo. ....	68
Figura 4.27 – Cruzamento entre falhas e o campo geotérmico da área em estudo. ....	69
Figura 4.28 - Comparação entre a precipitação (mm) e as temperaturas do solo a 0,2 e 1 m. RRR_QTD: Total da Quantidade de precipitação (mm); T-20_MD: Temperatura média a 0.20 m de profundidade; T-100MD: Temperatura média a 1 m de profundidade. A interrupção das séries de dados deve-se à ausência de registos na estação de Ponta Delgada. ....	71
Figura 4.29 - Comparação entre a temperatura ambiente e as diferentes temperaturas do solo (TMED – Temperatura ambiente; T-05_MD – Temperatura a 0.05 m da superfície do solo; T-20_MD – Temperatura a 0.2 m da superfície do solo; T-100MD – Temperatura a 1 m da superfície do solo). ....	72
Figura 4.30 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 0,05 m. ....	72
Figura 4.31 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 0,2 m. ....	73
Figura 4.32 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 1 m. ....	74
Figura 4.33 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a seco, a 0,60 m. .	75
Figura 4.34 - Relação entre a temperatura ambiente e a 1ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.....	75
Figura 4.35 - Relação entre a temperatura ambiente e a 2ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.....	76

Figura 4.36 - Relação entre a temperatura ambiente e a 3ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.....	76
Figura 4.37 - Relação entre a temperatura ambiente e a 4ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.....	77
Figura 4.38 - Carta geológica da área em estudo (adaptado de Moore, 1991).....	78
Figura 4.39 - Distribuição das unidades geológicas f9b segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.....	79
Figura 4.40 - Distribuição das unidades geológicas f7h-c7h segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo. ....	80
Figura 4.41 - Distribuição das unidades geológicas c6y-f6y segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo. ....	81
Figura 4.42 - Distribuição das unidades geológicas c5y-f5y; c5a-f5a; c5b; f5b segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.....	82
Figura 4.43 - Distribuição da unidade geológica f3r segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.....	83
Figura 4.44 - Distribuição da unidade geológica d3t; área em estudo. ....	84
Figura 4.45 - Distribuição da unidade geológica o3t; área em estudo. ....	85
Figura 4.46 - Distribuição da unidade geológica f3; área em estudo. ....	86
Figura 4.47 - Distribuição da unidade geológica o2t; área em estudo. ....	87
Figura 4.48 - Distribuição da unidade geológica p; área em estudo. ....	88
Figura 4.49 – Mapa da localização das falhas da área em estudo e respectiva comparação com as temperaturas médias medidas nos pontos do trabalho de campo. ....	89
Figura 4.50 – Comparação entre as manifestações antigas e a média das temperaturas. ....	90
Figura 4.51 – Mapa de exclusão da área final de estudo.....	92
Figura 5.1 – Média de cada uma das fases realizadas no campo, e da média geral das quatro últimas medições da temperatura (°C).....	94



## Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Classificação geotérmica segundo a entalpia (adaptado de Dickson e Fanelli, 2004). .....	6
Tabela 2.1 – Os 15 países com maior utilização de energia geotérmica no ano de 2005. (Produção eléctrica – Bertani, 2005; Uso directo – Lund <i>et al.</i> , 2005).....	14
Tabela3.1 – Temperaturas de três aquíferos de S. Miguel (Freire, 2006). .....	26
Tabela 3.2 – Classificação das águas da área da Caldeira Velha (Soares de Sousa <i>et al.</i> , 2004; Freire, 2006).....	30
Tabela 3.3 - Quadro comparativo entre a análise de Lepierre (1931) e a de Herculano de Carvalho (1954) (Carvalho, 1955). .....	31
Tabela 4.1 - Caracterização das manifestações hidrotermais existentes no concelho da Ribeira Grande. ....	52



## **Lista de Acrónimos**

BCG - Bombas de Calor Geotérmico

EDA – Electricidade dos Açores, S.A.

EGS – Sistemas Geotérmicos Estimulados

GPS – Global Positioning System

I.M. – Instituto de Meteorologia,

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

SOGEO – Sociedade Geotérmica dos Açores, S.A.



## 1. Introdução

Tendo por base o desafio colocado pelo Professor António Trota, à semelhança de outros trabalhos de prospecção geotérmica executados em outras regiões, o trabalho que aqui se apresenta pretende a avaliação das temperaturas do subsolo nas imediações da cidade da Ribeira Grande, ilha de S. Miguel, Açores, Portugal, tendo como objectivo a identificação de anomalias térmicas, as quais poderão indiciar a existência de circulação hidrotermal próximo da superfície, evidências de eventuais reservatórios geotérmicos. No âmbito desta tese definiram-se, globalmente, três etapas: a execução de furos termométricos de pequeno diâmetro (prospecção mecânica de baixa profundidade), com cerca de 0,60 m de profundidade; a medição de temperaturas; o tratamento estatístico e espacial das temperaturas obtidas.

Uma das motivações para a realização deste trabalho consistiu em estudar lugares da Ribeira Grande onde o estudo era precário ou inexistente. Inevitavelmente, os pontos estudados também se localizaram em zonas já estudadas, mas o principal seriam as zonas onde o potencial do campo geotérmico era desconhecido. Deste modo o estudo foi alargado a quatro freguesias da cidade da Ribeira Grande, a saber: Ribeirinha, Matriz, Santa Bárbara e Ribeira Seca.

Na ilha de S. Miguel, no flanco Norte do vulcão poligenético do Fogo, nas proximidades da cidade da Ribeira Grande (Figura 1.1), foi identificado um reservatório geotérmico de alta entalpia com temperaturas que ultrapassam os 250°C (Carvalho *et al*, 2006). Actualmente existem duas centrais geotérmicas, que utilizam os fluidos geotérmicos desses reservatórios para a produção de energia eléctrica.

A Geotermia ou Energia Geotérmica, o calor da Terra, é o termo genérico que se utiliza para designar a energia, ou calor, proveniente do interior da Terra. O termo “Geo” significa Terra enquanto “térmica” está relacionada com a quantidade de calor; a Energia Geotérmica é literalmente o calor contido no interior da Terra o qual gera um fenómeno geológico à escala planetária. As nascentes termais e as fumarolas são manifestações exteriores desta fonte de energia.

Segundo o Decreto-Lei n.º 172/2006 de 23 de Agosto, Artigo 2.º: “as fontes de energia não fósseis renováveis, tais como: energia eólica, solar, geotérmica, das ondas, das marés, hídrica, biomassa, gás de aterro, gás proveniente de estações de tratamento de águas residuais e biogás.”, a energia geotérmica é considerada renovável. À escala humana, o calor proveniente do interior da Terra é inesgotável; no entanto, sob o ponto de vista industrial, e quando a

extracção de calor ultrapassa claramente a reposição, nomeadamente nos sistemas hidrotermais naturais, esta energia poderá designar-se por sustentável.

Entre as vantagens da Energia Geotérmica relativamente a outras formas de energia destacam-se: grande potencial de aproveitamento de calor (virtualmente inesgotável à escala humana), independência energética dos países (*e.g.* relativamente aos combustíveis fósseis) pelo aproveitamento de um recurso endógeno e ser uma forma de energia limpa (redução do efeito estufa provocado pelas emissões de dióxido de carbono e, conseqüentemente, a atenuação das alterações climáticas) e amiga do ambiente.

Entre as vantagens da Energia Geotérmica relativamente a outras formas de energias renováveis (*e.g.* da energia eólica e hídrica) referem-se: a produção de energia em continuidade, a não dependência relativamente a factores externos (*e.g.* a energia eólica e hídrica dependem do vento e da precipitação, respectivamente), a não danificação do meio ambiente (*e.g.* as centrais associadas a esta energia não necessitam de obstruir rios/ribeiras, nem necessitam da desflorestação das florestas), a flexibilidade (*e.g.* tem sempre a oportunidade de construir unidades adicionais, aquando do crescimento das necessidades da população) e económica (*e.g.* não são necessários gastos monetários para importar combustíveis para as centrais geotérmicas (Energias e Alternativa, 2011)).

Segundo Muffer e Cataldi (1978) a energia geotérmica pode ser classificada em baixa ( $< 90^{\circ}\text{C}$ ), intermédia ( $90^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ ) e alta ( $> 150^{\circ}\text{C}$ ) entalpia, consoante a temperatura do reservatório geotérmico em exploração. Em tempos, a energia geotérmica de alta entalpia era a única que produzia energia eléctrica, trazendo independência das energias fósseis para alguns países, nomeadamente a Islândia. Desde o início da civilização que a energia geotérmica de baixa entalpia é utilizada para usos directos, nomeadamente para a cozedura de alimentos e balneoterapia. Nos últimos anos, mercê dos avanços tecnológicos, a energia de baixa entalpia tem vindo a ser utilizada para a produção de energia eléctrica, maioritariamente com carácter experimental devido, em parte, à baixa eficiência na transformação de energia térmica em eléctrica.

O aproveitamento dos recursos geotérmicos envolve fundamentalmente dois tipos de tecnologia: a tecnologia do reservatório e a tecnologia de superfície. A última diz respeito ao processo de transformação e ou uso directo do calor transportado pelo fluido geotérmico (directo, na maior parte dos sistemas, ou secundário, pela circulação de um fluido binário nas rochas do reservatório) do reservatório para a superfície através de furos. A tecnologia do reservatório (caso dos sistemas hidrotermais naturais) engloba todos os aspectos que permitem a descoberta e caracterização dos reservatórios geotérmicos, assim como a captação e transporte

do calor desses reservatórios para a superfície. É claramente esta tecnologia que condiciona fortemente o sucesso económico dos projectos geotérmicos, nomeadamente os de alta entalpia.

Genericamente, designam-se por prospecção geotérmica um conjunto alargado de técnicas que permitem a descoberta dos reservatórios geotérmicos. Os trabalhos de prospecção são faseados tendo como objectivo, à medida que se avança na prospecção, a redução do risco de insucesso através do aumento do conhecimento dos sistemas geotérmicos. No entanto, o maior conhecimento implica normalmente o recurso a técnicas mais onerosas.

Numa fase inicial de reconhecimento no âmbito da prospecção geotérmica seguem-se, grosso modo, metodologias similares a outros trabalhos de prospecção geológica. Entre as tarefas incluem-se: recolha bibliográfica; cartografia geológica; recolha de informação geoquímica de emanções gasosas e nascentes com e ou sem aporte térmico; os trabalhos de prospecção geofísica; e, finalmente, a prospecção mecânica, normalmente a mais onerosa. O objectivo da prospecção mecânica, concretizada na execução de furos termométricos e de avaliação, consiste, entre outros aspectos, na caracterização do reservatório no que diz respeito a: geometria, na determinação de pressões e temperaturas, quimismo do fluído, permeabilidade e porosidade das formações rochosas. Em última análise, estes parâmetros permitem conhecer o potencial geotérmico do reservatório e o seu potencial aproveitamento económico.

A localização dos furos de prospecção e de produção geotérmica, conforme referido, tem por base outras técnicas de prospecção geotérmica menos onerosas e expeditas. O sucesso na localização dos furos depende das fases de prospecção preliminares. Entre as técnicas de prospecção expeditas destacam-se aquelas que permitem a avaliação dos fluxos de calor à superfície da Terra, evidências da proximidade de sistemas geotérmicos em profundidade.

No âmbito deste trabalho de campo, após a pesquisa bibliográfica sobre as ocorrências geotérmicas no concelho da Ribeira Grande, definiu-se uma malha de 200 pontos (250x250 m) para a realização da prospecção mecânica de baixa profundidade (0,60 m) e posterior medição das temperaturas do solo (uma medição da temperatura a seco, e quatro medições do solo através do líquido condutor, para cada um dos furos).

Os dados das temperaturas foram tratados com recurso a ferramentas de geoestatística e relacionados com a temperatura ambiente, do solo e precipitação do Instituto Meteorológico, com as unidades litológicas e estruturais e ainda com as manifestações geotérmicas já existentes no local. Os resultados estatísticos confirmaram o potencial da cidade da Ribeira Grande para a produção da energia geotérmica de baixa entalpia.

Salienta-se que estes trabalhos de investigação se revestem de grande importância, considerando-se que o uso de energia geotérmica de baixa entalpia traria um desenvolvimento sustentável, com benefícios energéticos, económicos, sociais e turísticos.

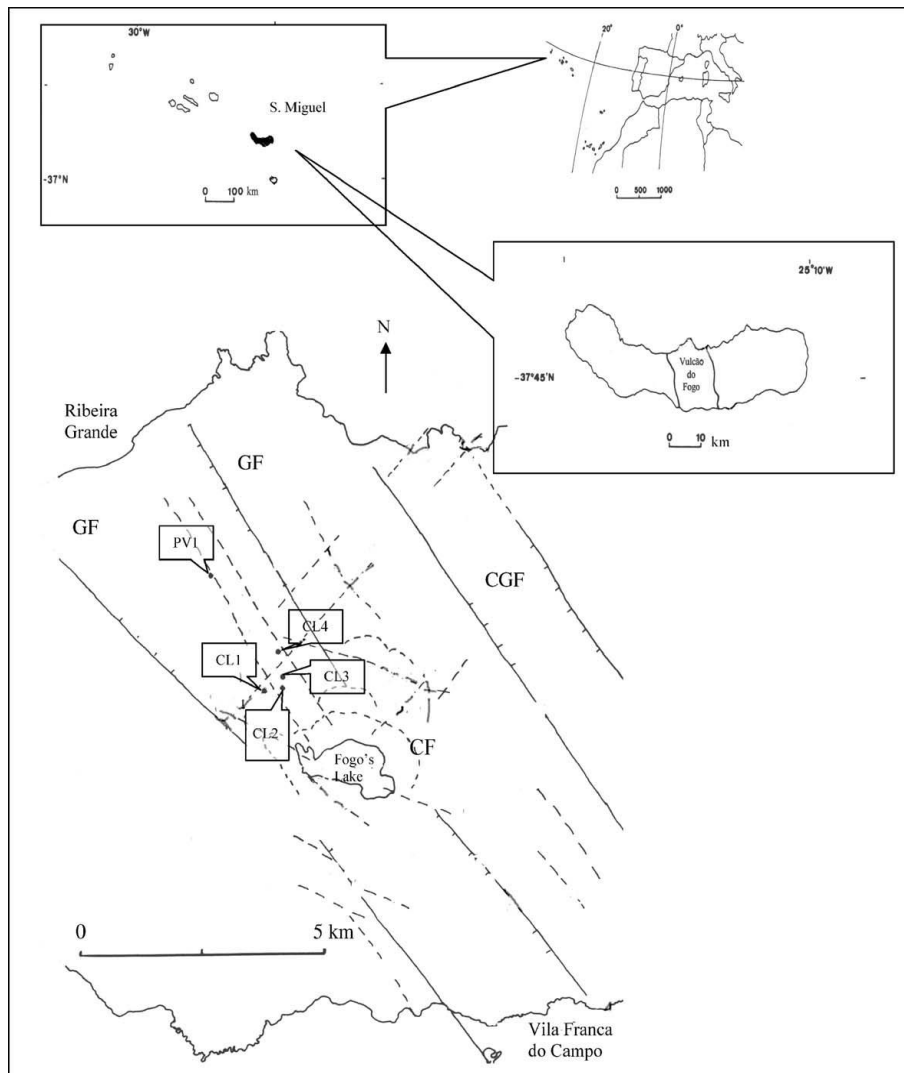


Figura 1.1 – Campo geotérmico da Ribeira Grande com a localização dos respectivos poços (PV1, CL1, CL2, CL3, CL4). GF representa o sistema de falhas do Graben; CF representa o sistema de falhas da caldeira; CGF representa o sistema de falhas do Congro. As linhas a cheio representam as falhas conhecidas e as linhas a tracejado representam possíveis falhas (Carvalho *et al*, 2006).

### 1.1. Breve História da Geotermia

Desde o início da civilização que se utilizam fontes hidrotermais para balneoterapia e usos domésticos, através da utilização directa do calor da Terra. No entanto, foi só nos séculos XVI e XVII, que durante as escavações das primeiras minas, alguns metros abaixo da superfície, o ser humano se apercebeu que a temperatura da Terra aumentava com a profundidade. Em 1740 realizaram-se as primeiras medições com termómetro, numa mina perto



de Belfort, em França, por De Gensanne. Somente em 1870 foi possível estudar o regime térmico da Terra através de métodos científicos mais modernos (Dickson e Fanelli, 2004).

Apenas no século XX, com a descoberta do papel do calor radiogénico foi possível compreender totalmente o fenómeno do balanço térmico e da história térmica da Terra. Actualmente, todos os modelos térmicos da Terra estão baseados na produção de calor originados pelo decaimento radioactivo de “longa vida” dos isótopos de urânio ( $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ), tório ( $Th^{232}$ ) e potássio ( $K^{40}$ ) presentes na Terra (Dickson e Fanelli, 2004).

Desde meados do séc. XIX que os fluidos geotérmicos começaram a ser utilizados como forma de energia potencial, mas, só um século depois é que houve a primeira tentativa de produção de energia eléctrica a partir da energia geotérmica. O sucesso desta tentativa potenciou o valor industrial deste tipo de energia, marcando o início de uma forma de exploração que tem tido um desenvolvimento significativo desde então.

No ano de 1827, em Larderello, Itália (Figura 1.2), uma indústria química que extraía boro de águas quentes, desenvolveu um sistema para utilizar o calor destes fluidos através do seu processo de evaporação, em vez de utilizar madeira como combustível. A primeira tentativa de produzir electricidade através de vapor geotérmico foi conseguida nesse local em 1904 através de uma máquina a vapor desenvolvida pelo príncipe Gionori Conti (Dickson e Fanelli, 2004).



Figura 1.2 – Vista geral das torres de arrefecimento de uma central geotérmica em Larderello, Itália (Swisseduc, 2011).

O primeiro furo geotérmico em Beppu, no Japão, foi realizado em 1919, não tendo, na altura, tido muito sucesso. Em 1928, a Islândia começou a explorar os fluidos geotérmicos (principalmente água quente) para aquecimento doméstico. Por volta deste mesmo período, mesmo sendo reduzido, a quantidade de vapor existente em Larderello, Itália, estava a ser utilizado de modo directo, para aquecimento de habitações e abastecimento de água quente (Dickson e Fanelli, 2004).

Em Portugal, a obtenção de electricidade a partir de recursos geotérmicos ocorreu pela primeira vez no arquipélago dos Açores, mais propriamente na Ilha de São Miguel, no ano de 1980. O primeiro furo que pôs a descoberto o reservatório geotérmico existente nas proximidades da cidade da Ribeira Grande foi efectuado em 1973 no âmbito das sondagens geológicas efectuadas pela Universidade de Dallhousie, descobrindo-se um reservatório geotérmico com temperaturas superiores a 200°C (Pavão, 2010).

Hoje em dia existem duas centrais geotérmicas na Ilha de São Miguel, cidade da Ribeira Grande, com uma produção de 37% da electricidade consumida na ilha (Ponte, 2010) e vários projectos para aplicação dos EGS – Sistemas Geotérmicos Estimulados em Portugal Continental.

### 1.2. Classificação dos Recursos Geotérmicos

Existem vários critérios para a classificação dos sistemas geotérmicos. Entre os mais comuns destacam-se a temperatura e a entalpia dos fluidos de captação. São vários os sistemas de classificação referidos na bibliografia. Sem a pretensão de fazer uma descrição exaustiva da dos sistemas de classificação geotérmica, apresentam-se aqui algumas das classificações mais conhecidas.

Na tabela 1.1, tendo por base o critério da temperatura média do reservatório e a entalpia, identificam-se as classificações de: a) Muffer e Cataldi (1978); b) Hochstein (1990); c) Benderitter e Cormv (1990); d) Nicholson (1993); e por último, e) Axelsson e Gunnlaugsson (2000) (Dickson e Fanelli, 2004).

Tabela 1.1 – Classificação geotérmica segundo a entalpia (adaptado de Dickson e Fanelli, 2004).

Classificação	a)	b)	c)	d)	e)
Baixa Entalpia	<90°C	<125°C	<100°C	≤ 150°C	≤ 190°C
Entalpia Intermédia	90°C – 150°C	125°C – 225°C	100°C – 200°C	-	-
Alta Entalpia	> 150°C	> 225°C	> 200°C	> 150°C	> 190°C

Para este estudo foi adoptada a classificação de Muffer e Cataldi (1978), dividida em três níveis de entalpia: baixo, intermédio e alto. Assume-se que esta classificação seja a melhor para a actual conjuntura da geotermia, devido à evolução dos sistemas geotérmicos, como o sistema geotérmico estimulado (EGS) que permite a produção de electricidade a temperaturas abaixo dos 150°C.

Para os diferentes tipos de entalpia pode-se associar-se um modelo de sistemas geotérmicos. Estes sistemas são caracterizados pela concentração superficial de calor terrestre que resulta da combinação de condições particulares geodinâmicas, litológicas, hidrogeológicas e geoquímicas, pela circulação natural ou artificial de fluidos (geralmente água) e pelo estado em que o calor é transportado, se por líquido e vapor, ou só por vapor (Barbosa, 2009).

Existem dois grandes sistemas: o sistema hidrotermal (estado natural) e o sistema EGS. Para além destes dois existem outros sistemas de menores dimensões: pressão geoestática (bacias sedimentares – 30 a 40 °C/Km), salmouras e sistemas ligados a actividade magmática próxima (Barbosa, 2009).

O sistema hidrotermal como um sistema de alta entalpia divide-se em dois sub-grupos (Barbosa, 2009): líquido dominante, em que o calor é transportado, numa mistura aquecida de vapor mais água (*e.g.* Ribeira, S. Miguel, Açores; Jeppu, no Japão, e Wiarakei, Nova Zelândia); e vapor dominante, em que o fluido que transporta o calor é apenas vapor (*e.g.* Geysers na Califórnia, e Larderello, em Itália).

Actualmente existe um enorme potencial para expansão da Energia Geotérmica, uma vez que o sistema EGS aproveita os conhecimentos e tecnologia da indústria petrolífera, nomeadamente através das técnicas de perfuração, sondagem e bombagem, todas elas a grandes profundidades. Em virtude dessas técnicas terem sido efectuadas pela indústria petrolífera implica uma redução significativa dos custos para o sistema EGS.

A geotermia do futuro desenvolve-se a partir de vários modelos conceptuais que receberam a designação genérica de EGS. O objectivo é a extracção de calor de rochas cristalinas a profundidades elevadas (3 a 5 km), sendo para isso criado um reservatório geotérmico artificial através da fracturação hidráulica das rochas. Realiza-se um segundo furo no topo das fracturas e injecta-se água fria no primeiro furo, a partir da superfície, que atravessa a rocha quente que se encontra no interior da terra de onde extrai o calor regressando depois de aquecida à superfície através do segundo furo.

Sabendo-se que, a essas profundidades, se consegue obter água a mais de 200°C percebe-se o enorme potencial que representa o domínio desta tecnologia. As sondagens feitas anteriormente na Terra demonstram que a proporção em que aumenta a temperatura é de 20 a 40

graus centígrados por km de profundidade. Este aumento da temperatura com a profundidade é conhecido como gradiente geotérmico e, apesar da qualidade de um sistema EGS variar segundo uma série de factores, como a permeabilidade, porosidade das rochas existentes e a sua reactividade com a água, o factor chave é o gradiente geotérmico.

Este tipo de sistema foi pela primeira vez testado em Los Alamos, New Mexico, USA, em 1970 (altura do 1º choque petrolífero), seguindo-se projectos experimentais para a produção de electricidade, que continuam a ser realizados em vários países do mundo, incluindo na União Europeia, que tem alguns projectos em fase avançada de testes e já com alguns anos de estudo (e.g. projecto de EGS de Soultz, em França, e projecto de Rosemanowes no Reino Unido).

O sistema EGS é a geotermia do futuro, pois vai fazer com que todos os países tenham uma fonte de energia renovável e independente. No entanto, este sistema apresenta alguns problemas que faz com que esta energia não seja ainda muito competitiva, entre os quais se destacam: o problema das mineralizações, que se deve ao facto da água ao migrar dissolver elementos que se vão depositar nas fissuras levando à sua colmatção; o facto da fracturação ter de ser provocada em profundidade; a viabilidade económica do processo, pelo facto da energia consumida ser maior do que a energia produzida (Barbosa, 2009).

### 1.3. Aplicações da Geotermia

A energia geotérmica pode ser aplicada a diferentes utilizações. A grande diferença para a escolha da utilização está dependente da temperatura do fluído que chega à superfície do furo. Demonstrando este facto, Lindal (1973) desenvolveu um diagrama, actualmente denominado por Diagrama de Lindal (Figura 1.3), que evidencia que a utilização ideal para a energia geotérmica é feita em cascata, a temperaturas progressivamente mais baixas, até cerca de 20°C (Martins Carvalho e Carvalho, 2004).

No Diagrama de Lindal a produção de energia eléctrica pode ser efectuada a partir dos 90°C, aproximadamente, evidenciando que, actualmente, a geração da energia eléctrica também pode ser efectuada em baixas temperaturas.

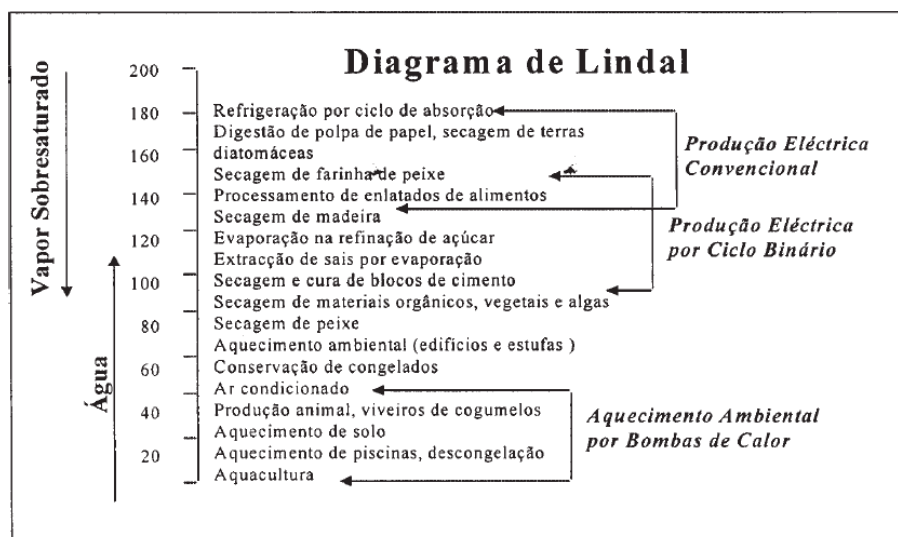


Figura 1.3 – Diagrama de Lindal (adaptado de Lindal, 1973).

A utilização mais antiga da geotermia é a balneoterapia. Desde muito cedo os povos utilizaram as águas termais para higiene e terapia. A geotermia de baixa entalpia agrupa as utilizações directas do calor da terra em aplicações como aquecimento de casas, de piscinas, de estufas e em numerosas aplicações industriais.

Na ilha de S. Miguel desde muito cedo que se utiliza a energia geotérmica de baixa entalpia. Como aplicações antigas referem-se as utilizações em termas (balneoterapia) e em gastronomia. Neste particular, incluem-se a cozedura de milho (Figura 1.4) e o Cozido das Furnas (Figura 1.5), variedade do Cozido à Portuguesa. São pratos típicos de São Miguel cuja confecção é feita, no caso do milho, directamente nas fumarolas, enquanto o cozido é colocado em panelas cobertas com sacos de lona em furos abertos no solo do campo de fumarolas das Furnas, com permanência entre 5 a 7 horas. As termas mais frequentadas na ilha S. Miguel são as das Furnas, as da Caldeira da Ribeira Grande e as da Ferraria..

As fontes geotérmicas, águas quentes, também são utilizadas para outros fins, nomeadamente para o cultivo de ananás em estufa, produção de chá, e higiene.



Figura 1.4 – Fumarola onde se coze o milho.



Figura 1.5 – Furo onde se confecciona o cozido das Furnas.



## 2. Geotermia no Mundo

À escala humana a energia geotérmica é uma fonte inesgotável de energia, comparável com a energia solar. Desde o início da civilização que as fontes hidrotermais são aproveitadas para banhos e para aquecimento. O aproveitamento do calor para produção de electricidade tem aproximadamente 100 anos.

Só uma ínfima parte deste calor tem sido aproveitado pelo ser humano, visto que a sua utilização estava limitada a zonas de fluxos anómalos, zonas de fraqueza estrutural de tectónica de placas e limites de placas (Figura 2.1); como exemplo temos: cristas médias de expansão (centrais geotérmicas dos Açores, Islândia e Quênia), falhas activas transformantes (Geysers, na Califórnia) e zonas arcos-ilhas de zonas de subducção (Japão e Indonésia) (Barbosa, 2009).

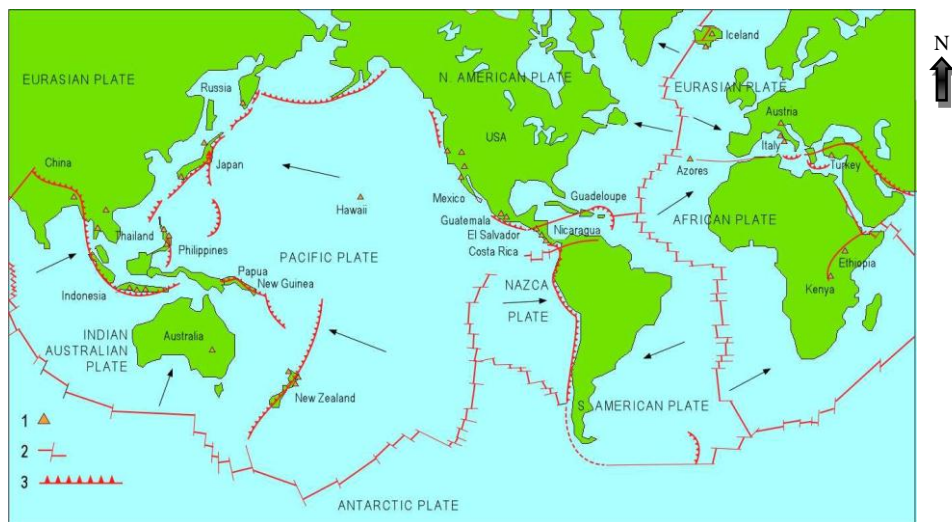


Figura 2.1 – Distribuição mundial de países com aproveitamento de energia geotérmica e a localização dos limites de placas tectónicas (Dickson e Fanelli, 2004).

O aproveitamento dos sistemas EGS vem alargar o âmbito da pesquisa geotérmica a outras regiões do planeta com gradientes geotérmicos normais (Figura 2.2), através da perfuração em zonas profundas da crosta, como por exemplo na Bacia Lusitaniana, em Portugal continental.

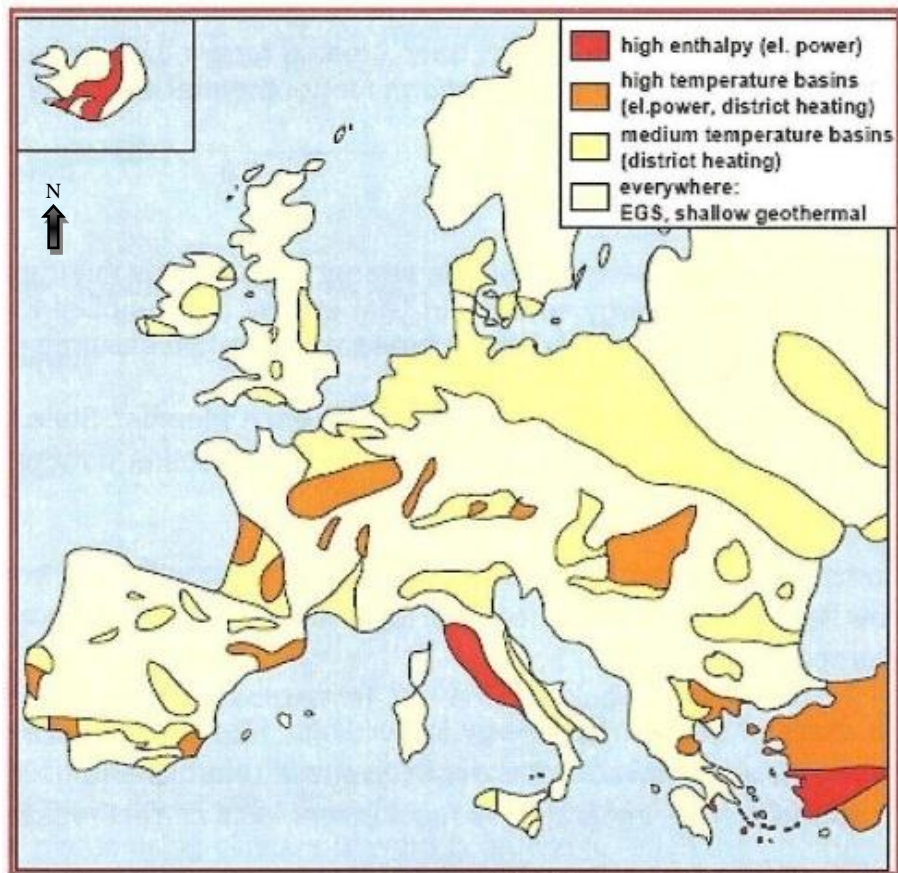


Figura 2.2 – Caracterização do potencial geotérmico na Europa, nomeadamente o sistema EGS (Dumas, 2009).

Desde 1913 que a produção da electricidade é gerada através do vapor de água proveniente de reservatórios geotérmicos. Havendo um rápido aumento na utilização da energia geotérmica nas últimas três décadas foram identificados 90 países com recursos geotérmicos; no entanto apenas 72 dos 90 países utilizam estes recursos. Dos 72, apenas 24 países produzem electricidade através da energia geotérmica (Bertani, 2009).

Cinco dos países em que a energia geotérmica é utilizada para gerar electricidade têm uma percentagem de geração de 15 a 22% no total de produção de cada um destes países: Costa Rica, El Salvador, Islândia, Quênia e Filipinas (Bertani, 2009).

Em 2004, o consumo global da energia geotérmica foi de aproximadamente 57 TWh/ano de electricidade e 76 TWh/ano para uso directo. As potências eléctricas e de aplicação directa instaladas em 2004 foram de 8,933 MWe e de 28,268 MWth, respectivamente. A Figura 2.3 representa a potência instalada e a produção total de electricidade e uso directo da energia geotérmica para os diferentes continentes em 2004 (Bertani, 2009).



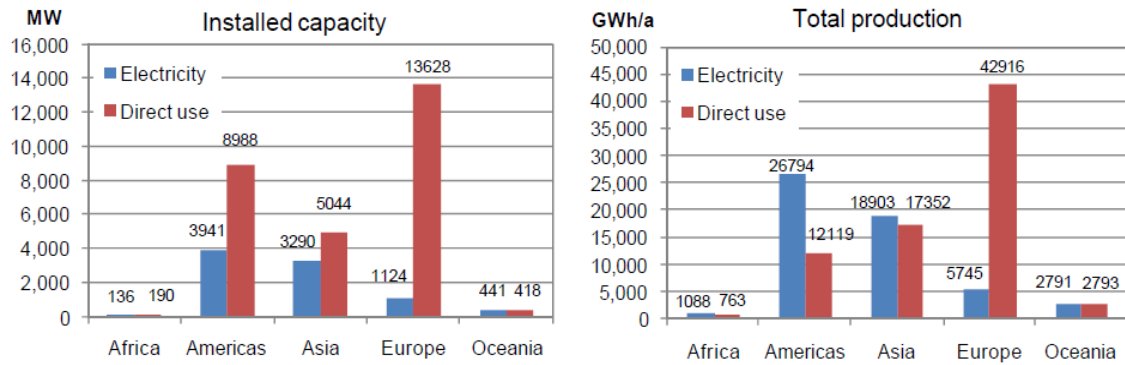


Figura 2.3 – Capacidade instalada (esquerda) e energia produzida (direita) para a produção de electricidade e usos directos através da energia geotérmica para os diferentes continentes; Consideram-se “Americas” a América do Norte, do Sul e do Centro (Fridleifsson e Ragnarson, 2007).

A produção mundial de electricidade através da energia geotérmica tem vindo a aumentar anualmente, com uma taxa de crescimento de 3%, enquanto que o uso directo da geotermia aumentou 7,5%. Apenas uma ínfima fracção dos potenciais geotérmicos são aproveitados, o que tenderá para uma taxa de crescimento ainda maior nos próximos anos. (Bertani, 2009)

A Figura 2.4 demonstra a potência instalada para a geração de electricidade referente ao ano de 2007 para os países produtores de electricidade através da energia geotérmica (Bertani, 2009).

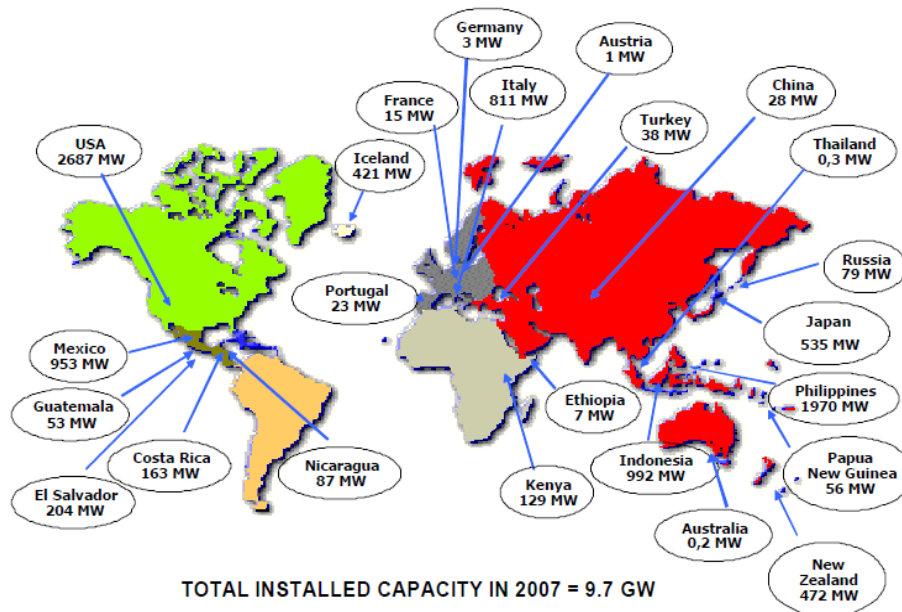


Figura 2.4 – Capacidade instalada para a produção de electricidade em 2007 para os diferentes países (Bertani, 2007).

## 2. Geotermia no Mundo

Na Tabela 2.1 estão representados os 15 países com maior produção de electricidade e uso directo da energia geotérmica, referente ao ano de 2005. Na lista dos maiores produtores de electricidade, 10 dos países mencionados são países em desenvolvimento, enquanto que na lista dos maiores produtores da aplicação do uso directo da geotermia, apenas cinco são considerados países em desenvolvimento (Bertani, 2009).

Tabela 2.1 – Os 15 países com maior utilização de energia geotérmica no ano de 2005. (Produção eléctrica – Bertani, 2005; Uso directo – Lund *et al.*, 2005).

Produção eléctrica		Uso directo	
País	GWh/ano	País	GWh/ano
EUA	17,917	China	12,605
Filipinas	9,253	Suécia	10,000
México	6,282	EUA	8,678
Indonésia	6,085	Turquia	6,900
Itália	5,340	Islândia	6,806
Japão	3,467	Japão	2,862
Nova Zelândia	2,774	Hungria	2,206
Islândia	1,483	Itália	2,098
Costa Rica	1,145	Nova Zelândia	1,968
Quénia	1,088	Brasil	1,840
El Salvador	967	Geórgia	1,752
Nicarágua	271	Rússia	1,707
Guatemala	212	França	1,443
Turquia	105	Dinamarca	1,222
Guadalupe (França)	102	Suíça	1,175

Os principais tipos de aplicações (em termos percentuais) do uso directo da energia geotérmica são: aquecimento interior - 52% (do qual 32% está associado a bombas de calor geotérmico (BCG)); balneoterapia - 30%; horticultura (estufas e aquecimento do solo) - 8%; indústria - 4% e aquicultura - 4%. A Figura 2.5 representa as percentagens indicadas anteriormente (Bertani, 2009).

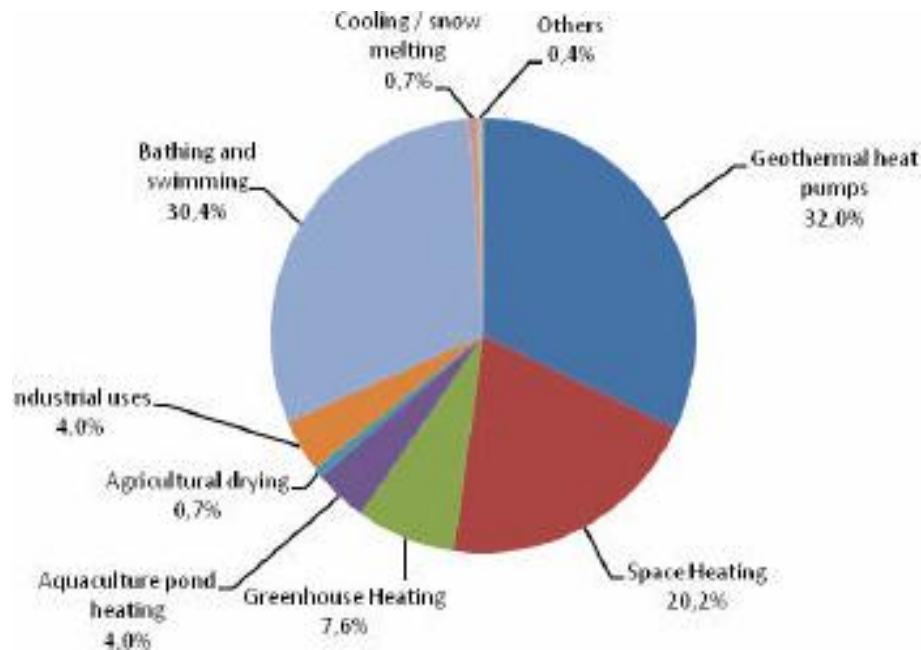


Figura 2.5 – Aplicações do uso directo da energia geotérmica por percentagem do total de energia utilizada no mundo em 2004 (Lund *et al.*, 2005).

As Bombas de Calor Geotérmicas representam a aplicação de energia renovável com maior taxa de crescimento a nível mundial. Apesar de ser relativamente recente, esta tecnologia já se encontra bastante estabilizada, utilizando a energia armazenada no interior da Terra (Bertani, 2009). Esta afluência deve-se às condições mínimas necessárias para a construção desta aplicação, nomeadamente temperaturas do interior da Terra e das águas subterrâneas de 4°C a 30°C, fazendo com que as bombas de calor geotérmicas possam ser introduzidas em todos os países do mundo. As bombas de calor geotérmicas permitem: o aquecimento interior, água doméstica fria e quente para habitações, escolas, fábricas, edifícios públicos e edifícios comerciais (Bertani, 2009).

A Figura 2.6 representa o rápido crescimento das bombas de calor geotérmicas a nível mundial. Nesta figura estão representadas os países com maior afluência a esta aplicação (Bertani, 2009).

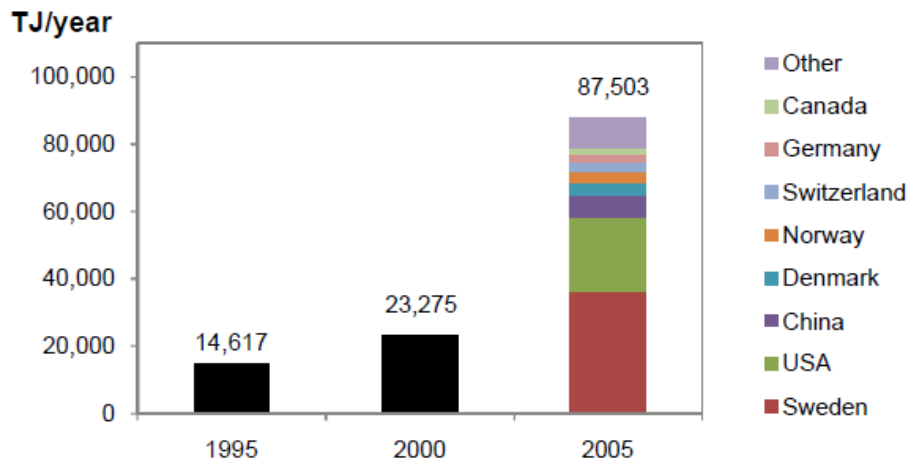


Figura 2.6 – Crescimento mundial da aplicação das bombas de calor geotérmicas, assim como os países com maior número de aplicações de calor geotérmico (Lund *et al.*, 2005).

Há que salientar não só o elevado crescimento da utilização desta tecnologia entre o ano 2000 e 2005, assim como países que lideram o mercado das bombas de calor geotérmicas, conhecidos pelos seus invernos rigorosos.

### 2.1. Utilizações Mundiais

O uso directo da Energia Geotérmica pelo ser humano tem antecedentes milenários. Evidências de que os japoneses usavam fontes térmicas para tomar banho e cozinhar datam de 11 000 a.C. Cerca de 3 000 anos depois, os Índios Nativos Americanos acampavam perto de fontes térmicas na América do Norte e utilizavam estas fontes para a sua higiene e com fins medicinais (Energia Geotérmica, 2010).

Grandes ‘banhos romanos’ utilizando água quente natural foram construídos durante o império Romano (509 a.C. - 27 a.C.). A água era usada com fins para aspectos medicinais, assim como para aquecimento (Energia Geotérmica, 2010).

Já no século IX d.C., na Islândia, as pessoas cultivavam em terrenos naturalmente aquecidos e, conseqüentemente, isso trouxe melhorias à mesma produção agrícola. Tempos depois na Nova Zelândia, o povo Maori começou a utilizar o solo aquecido para a cozedura a vapor (Energia Geotérmica, 2010).

Em França, cerca de setecentos anos atrás, a água quente extraída a 85°C da bacia sedimentar de Paris era utilizada para aquecimento de edifícios (Energia Geotérmica, 2010).

São inúmeras as actuais aplicações directas da Energia Geotérmica a nível mundial (ver Diagrama de Lindal na Figura 1.3). A aplicação mais recente, com carácter experimental, está relacionada com a produção de electricidade através de fluidos geotérmicos abaixo dos 100°C, quer em sistemas geotérmicos naturais quer em Sistemas Geotérmicos Estimulados, como referido anteriormente.

A utilização das energias renováveis também permite a redução dos gases com efeito de estufa, nomeadamente o CO<sub>2</sub>. Uma das formas de aproveitamento da Energia Geotérmica consiste no aproveitamento do calor contido nos aquíferos e ou em formações geológicas superficiais, recorrendo a BCG. As BCG permitem o desenvolvimento de sistemas de aquecimento e climatização, através de permutadores instalados no subsolo e ou à superfície (Martins Carvalho e Carvalho, 2004). Dois exemplos de aplicação desta forma de aproveitamento da Energia Geotérmica de baixa entalpia são a Suíça e os Estados Unidos da América. Na Suíça existe uma BCG por cada 2 km<sup>2</sup> e na América são construídas 50 mil novas instalações por ano (Martins Carvalho e Carvalho, 2004). No caso da União Europeia, a capacidade instalada em 2006 era de 7328,3 MWth, com um total de 25 países, incluindo Portugal (Bertani, 2009).



### 3. Geotermia em Portugal

Devido ao enquadramento geológico distinto do território português, distribuído pelo continente e regiões autónomas dos Açores e da Madeira, as utilizações actuais da geotermia e o potencial geotérmico dessas regiões é diferenciado. Nesse sentido, fazem-se aqui referências a algumas utilizações da geotermia nessas três regiões distintas; continente (Anexo III), Açores e Madeira.

Será dado um maior detalhe aos aproveitamentos geotérmicos na ilha de S. Miguel, com especial relevo para o Campo Geotérmico da Ribeira Grande, onde, desde a década de 1970, mais se tem explorado a energia geotérmica em Portugal, fundamentalmente a alta entalpia.

#### 3.1. Utilizações em Portugal Continental

Existem registos históricos que a utilização da energia geotérmica de baixa entalpia, ou seja, a utilização da água quente, está implementada em Portugal desde o tempo da colonização romana. Hoje em dia ainda é possível encontrar-se vestígios arqueológicos de termas que tiveram grande importância na Europa romana, e onde as águas termais foram, desde sempre, utilizadas para balneoterapia (adaptado de Lourenço e Cruz, 2005).

As temperaturas a que as águas minerais emergem em Portugal Continental variam entre 20°C e os 76°C. Considera-se aqui, de acordo com a recomendação do Congresso de Praga de 1969, que a temperatura mínima geotérmica como sendo os 20°C (IGM, 1999). Com o aumento do interesse pelo aproveitamento de formas de energia renováveis, a partir do ano de 1970, as águas emergentes em Portugal começaram a ser objecto de atenção e estudo para um melhor aproveitamento desta fonte de calor/energia (Lourenço e Cruz, 2005).

O primeiro projecto para aproveitar o calor para fins que não fossem a balneoterapia surgiu nas termas de Chaves em 1982. Um furo com uma profundidade de 150 m e temperaturas de 76°C foi utilizado para aquecer a água da piscina municipal. Este aquecimento era realizado através de um permutador de calor. A água proveniente do permutador de calor é utilizada para o aquecimento ambiente do hotel *Aqua Flaviae*, localizado nas proximidades das termas e também aquecimento dos balneários. Em 1990 houve a tentativa de um projecto de estufas associadas às termas de Chaves (Figura 3.1); no entanto, este projecto foi abandonado após alguns meses da sua abertura (Lourenço, 2005; Carvalho e Nunes, 2010).

### 3. Geotermia em Portugal

---

As termas de Chaves são um bom exemplo dos aproveitamentos em cascata, exemplificados pelo Diagrama de Lindal (Figura 1.3).

Além do furo de 150 m existe outro na zona da Chaves com uma profundidade de 100 m e temperatura de 73°C utilizado para banhos termais (Cabeças *et al.*, 2010).



Figura 3.1 – Projecto das estufas de Chaves (Carvalho e Nunes, 2010).

Outro exemplo de diferentes aplicações no campo da geotermia de baixa entalpia é o caso das Termas de S. Pedro do Sul que, desde 2001, tem a sua central geotérmica em funcionamento. Esta central faz o aquecimento do balneário Rainha D. Amélia e de mais dois hotéis, a partir de um furo 500 m de profundidade (Lourenço, 2005), em que a temperatura da água emergente é de 69°C. Além destas aplicações existe também o caso de aproveitamento geotérmico, localizado a 2 km das termas de S. Pedro do Sul, nomeadamente a zona do Vau. Desde 1981 são aproveitadas as águas termais de um poço com uma profundidade de 216 m, cuja temperatura emergente é de 68°C, para o aquecimento de 2 ha de estufas do Vau que produzem frutos tropicais, maioritariamente ananases (Cabeças *et al.*, 2010).

A central geotérmica de S. Pedro do Sul (Figura 3.2) é constituída, no essencial, por um grande permutador, que transfere a temperatura da água mineral natural para a água normal da rede; inclui ainda um “colector de saída” constituído com seis saídas, de modo a levar a água não mineral aquecida para vários consumidores de geocalor e um “colector de retorno”, com



seis entradas de modo a receber a água não mineral, já fria, após ter ido aos permutadores dos consumidores, onde perde o seu geocalor (Lourenço, 2005).

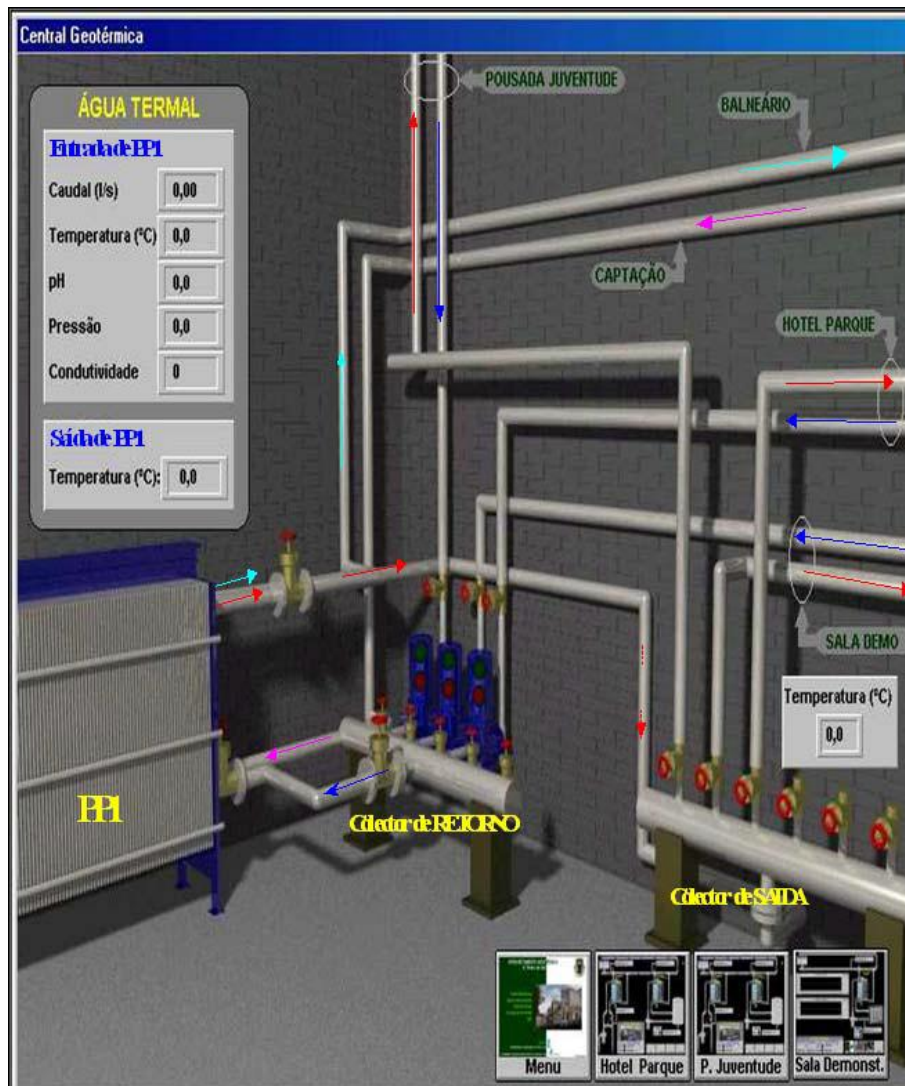


Figura 3.2 – Interior da central geotérmica de S. Pedro do Sul (Gomes, 2010).

No Hospital da Força Aérea (Lumiar) foi efectuado um único furo com a profundidade de 1 500 metros, na qual a água de emergência tinha aproximadamente 50°C. Este projecto tinha como objectivo a produção de água quente sanitária, climatização e água potável fria. Este furo foi executado em 1987 e representa a primeira tentativa para alcançar o grés do Aptiano-Albino a grandes profundidades em Portugal. As zonas aproveitadas situavam-se entre os 1250 metros e os 1470 metros, em camadas do Aptiano-Albino (Cretácico Inferior), na bacia de Lisboa. Este projecto geotérmico do Lumiar funcionou durante 9 anos e o tempo para recuperar o investimento realizado foi estimado em 5 anos. Actualmente este furo não está em operação devido a problemas de funcionamento da captação (Lourenço, 2005).

Nos serviços sociais das Forças Armadas (Oeiras), o aproveitamento geotérmico é feito a partir de um furo de 475 metros, que capta os níveis do Aptiano-Albino entre os 385 metros e os 469 metros. A água de emergência tem uma temperatura de 30°C e esta é aproveitada para fins idênticos aos do Hospital da Força Aérea do Lumiar, com o apoio de bombas de calor (Lourenço, 2005).

Além dos projectos acima referidos, em Portugal Continental, existiram outros que actualmente já estão abandonados, tais como: Campo geotérmico de Monção, um projecto de aquicultura com temperaturas de 50°C; Termas de Carlão, estas operaram entre 1989 e 1993 e foram abandonadas pelo proprietário das termas; Termas das Caldas de Manteigas, existiram vários estudos, a temperatura no local é de 42°C, mas não houve aplicação no campo da geotermia; Termas das Caldas do Moledo, foram realizados estudos no local, nomeadamente no vale do Douro, apesar da temperatura recolhida ser de 45°C, neste local não foram aplicadas quaisquer utilizações geotérmicas (Carvalho e Nunes, 2010).

Outro uso directo da geotermia em crescimento são as BCG. Apesar de não serem consideradas, pela Administração Portuguesa, como uso directo da geotermia, já existem pelo menos duas aplicações em funcionamento de bombas de calor geotérmicas em Portugal Continental (Cabeças *et al.*, 2010).

Relativamente à aplicação da energia geotérmica para produção de energia eléctrica através de um sistema do tipo EGS, existem em Portugal três projectos em fase de estudo (prospecção geotérmica preliminar). Estes projectos situam-se em Chaves, na Região das Beiras e na Bacia Lusitaniana.

O projecto de Chaves está a ser estudado por uma empresa Canadiana, Kernow Mining Portugal Soc Unip. Lda. (KMP), que veio para Portugal com o objectivo de explorar ouro. Este projecto, para a produção de energia através do sistema EGS, aguarda parecer da Direcção Geral de Energia e Geologia. Neste sistema, a água a utilizar é a água termal de Chaves que emerge com uma temperatura de 76°C; o reservatório está intimamente associado a um denso sistema de fracturas resultante da actividade da denominada falha Verin-Chaves-Régua-Penacova; a profundidade dos furos para que a exploração do reservatório seja economicamente viável está prevista situar-se entre os 2 000 e os 3 000 metros de profundidade (Chambers e Matthews, 2009).

O projecto EGS da Região das Beiras, fase de prospecção geotérmica, está a ser estudado, desde Fevereiro de 2008, numa parceria entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e a empresa Patris Capital. Esta região foi escolhida para um projecto EGS devido à sua provável fonte de calor, derivada da concentração de U, Th e K

presentes nas rochas da crosta terrestre, ou derivada das águas termais existentes no local. Pode deduzir-se que as elevadas profundidades se podem encontrar temperaturas elevadas, uma vez que na região existem várias termas com temperaturas entre os 23°C e os 51°C (Neves e Pereira, 2009).

Por último, o projecto da Bacia Lusitaniana está a ser estudado pela empresa Gesto Energi S.A. e tem como objectivos tirar partido dos furos e técnicas usadas na indústria do petróleo. O projecto tem por objectivo desenvolver um reservatório a cerca de 4 500 m de profundidade, esperando-se alcançar temperaturas compreendidas entre os 140°C e os 150°C (Silva, 2009).

### **3.2. Utilizações na Madeira**

Na Região Autónoma da Madeira estão a ser desenvolvidos estudos com a finalidade de produção energia geotérmica. Estes estudos estão a ser realizados pela EEM – Empresa de Electricidade da Madeira em parceria com o LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (Governo Regional da Madeira, 2011).

Devido às características geológicas e tectónicas da Ilha da Madeira o sistema a implementar para a geração de electricidade será o EGS, um sistema de baixa entalpia. O LNEG é a entidade que em Portugal tem promovido a tecnologia do EGS (Governo Regional da Madeira, 2011).

Este projecto será repartido em três fases: a primeira etapa consta do estudo prévio (prospecção e avaliação), sobre possíveis localizações de fontes térmicas e respectivos sistemas, esta etapa deve ter uma duração de dois anos e meio; a segunda fase do projecto visa na caracterização do reservatório, identificado através de sondagem profunda, a que se segue a estimulação do mesmo; por último, a terceira fase baseia-se no desenvolvimento do reservatório e instalação da central geotérmica, através da realização de uma segunda sondagem de forma a estabelecer o circuito geotérmico necessário ao funcionamento da central (LNEG, 2011).

Neste momento o projecto encontra-se na primeira etapa, prospecção e avaliação do campo geotérmico da Ilha da Madeira (Governo Regional da Madeira, 2011).

### **3.3. Utilizações nos Açores**

Algumas das ilhas da Região Autónoma dos Açores apresentam condições muito favoráveis ao aparecimento de factores geotérmicos, devido às suas condições geológicas, ilhas

vulcânicas, e devido ao seu enquadramento geográfico, situando-se tectonicamente no ponto triplo, onde confluem as placas da Eurásia, da Núbia e Norte Americana.

Nos Açores existem utilizações de geotermia em alta entalpia e baixa entalpia. No que concerne às aplicações directas da geotermia, apenas quatro ilhas possuem termas balneares ou projectos para termas: S. Miguel, Terceira, Faial e Graciosa. Na Ilha Terceira existe um projecto para a realização de termas na zona hidrotermal do Posto Santo, concelho de Angra do Heroísmo, com águas termais extraídas entre 36°C a 42°C. As utilizações destas termas servirão para fins terapêuticos e para o bem-estar pessoal. Ainda na Ilha Terceira, existem registos de que no passado as populações usufruíam das águas termais localizadas na pequena nascente da Água Santa das Quatro Ribeiras para tratamento de doenças de foro reumático e dermatológico, também nas freguesias da Serreta e Raminho eram utilizadas as águas carbogaseificadas para fins de complicações circulatorias e digestivos (Câmara Municipal de Angra do Heroísmo, 2011).

Na Ilha do Faial, mais propriamente na Ponta do Varadouro, existe uma praia e um complexo de termas com águas hiper-salinas a uma temperatura de 35,5°C (Azores Web, 2011). Neste local existe a infra-estrutura das Termas do Varadouro, em tempos abandonada e que já se encontra em recuperação. A abertura da infra-estrutura deu-se a 1 de Agosto de 1954. Estas águas são classificadas como sulfurosas e são recomendadas para tratamentos de doenças de pele e reumáticas (Wikipédia – Capelo (Horta), 2011).

As Termas do Carapacho situadas na Ilha Graciosa, estão providas de infra-estruturas termais e de uma piscina natural. A nascente termal está situada dentro do próprio edifício e é aplicada desde 1750 no tratamento do reumatismo, colites e doenças de pele, com temperaturas de aproximadamente 40°C (Wikipédia – Termas do Carapacho, 2011).

Visto que o presente trabalho surge na Ilha de S. Miguel, as aplicações de geotermia de baixa entalpia desta ilha serão referenciadas no subcapítulo 3.3.1.

Em relação à energia geotérmica de alta entalpia, até ao momento, apenas existem centrais geotérmicas (Central do Pico Vermelho e Central da Ribeira Grande) na Ilha de S. Miguel; no entanto já existem estudos para a produção de electricidade através da geotermia nas ilhas Terceira, Faial, S. Jorge, Pico e Graciosa. Entre estes, o projecto da Ilha Terceira, localizado no Pico Alto, é o que está mais avançado, estando na última fase do projecto, denominada fase de desenvolvimento, que consta das seguintes etapas: construção de uma central geotérmica piloto de 3 MW, prevista para os anos de 2011 e 2012; exploração de novas actividades entre 2011 e 2014; e expansão da central geotérmica para 10 MW, acrescentando uma capacidade de 7 MW à central geotérmica inicial, a partir de 2014 (Ponte, 2010).

As centrais geotérmicas da Ilha de S. Miguel serão descritas no subcapítulo 3.3.1.1.

### 3.3.1. Utilização em S. Miguel

As utilizações da energia geotérmica, tanto de alta como de baixa entalpia, em S. Miguel estão associadas aos três principais complexos vulcânicos desta ilha: vulcão das Furnas, vulcão do Fogo ou Água do Pau e vulcão das Sete Cidades (Figura 3.3). O vulcão do Fogo é o mais recente e o único com utilizações tanto em alta como de baixa entalpia. Neste complexo podem ser encontradas duas centrais geotérmicas (do flanco norte do vulcão), as termas das Caldeiras da Ribeira Grande e a área geotérmica da Caldeira Velha.

O vulcão das Furnas possui de uma vasta área geotérmica, com fumarolas, águas termais, zonas balneares e ainda uma infra-estrutura em recuperação das termas das Furnas. No complexo das Sete Cidades é possível visitar as termas da Ferreira, assim como a sua baía natural.



Figura 3.3 - Geotermia associada aos complexos vulcânicos na Ilha de S. Miguel (Amaral, 2008).

Segundo Cruz (2001), podem definir-se seis sistemas de aquíferos na ilha de S. Miguel: Sete Cidades, Ponta Delgada-Fenais da Luz, Água de Pau, Achada, Furnas-Povoação e Nordeste. Estes sistemas aquíferos estão representados na Figura 3.4, respectivamente, da esquerda para a direita. Estes aquíferos, globalmente associados às águas doces de percolação superficial, relacionam-se com os sistemas hidrotermais de diferentes formas. Frequentemente, os fluidos geotérmicos captados pela exploração geotérmica e com manifestações superficiais (fumarolas e nascentes) correspondem a águas pluviais que penetram em profundidade e, após aquecimento pelo calor magmático, ascendem a níveis superiores dos edifícios vulcânicos. Por vezes, o vapor de água geotérmico mistura-se com os aquíferos de água doce superficial, nomeadamente o aquífero base da ilha, resultando em nascentes ácidas (*e.g.* nascente da Caldeira Velha) (Trotta, 2009).

### 3. Geotermia em Portugal



Figura 3.4 – Sistemas de aquíferos da Ilha de S. Miguel (Cruz, 2001).

As nascentes minerais de S. Miguel encontram-se em três dos seis sistemas de aquíferos de S. Miguel, nomeadamente, Furnas-Povoação, Água de Pau e Sete Cidades. Na tabela 3.1. podem visualizar-se as temperaturas máximas, médias e mínimas de cada sistema, bem como o respectivo número de dados que contribuíram para a análise (Freire, 2006).

Tabela3.1 – Temperaturas de três aquíferos de S. Miguel (Freire, 2006).

Sistemas Aquíferos	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Furnas -Povoação	45	44,0	27,5	99,5	15,0	39,0
<b>Água de Pau</b>	<b>23</b>	<b>33,4</b>	<b>21,1</b>	<b>93,7</b>	<b>15,2</b>	<b>27,5</b>
Sete Cidades	6	53,5	13,1	67,7	32,8	57,5
S. Miguel	74	41,5	25,2	99,5	15,0	35,6

As termas da Ferraria são um exemplo de água hidrotermal a elevadas temperaturas do sistema das Sete Cidades. Na freguesia das Furnas existem várias manifestações do calor da Terra, nomeadamente águas quentes, fumarolas e terra suficientemente quente, para que, a cerca de um metro de profundidade, se possa cozinhar.



### 3.3.1.1. Utilizações no Campo Geotérmico da Ribeira Grande

#### Alta Entalpia

O campo geotérmico da Ribeira Grande está incluído no Complexo Vulcânico do Fogo (ver capítulo 4) e contém recursos de baixa e de alta entalpia.

No flanco Norte do Vulcão do Fogo (Figura 3.5) a empresa SOGEO (do grupo EDA – Electricidade dos Açores) tem a concessão de uma área onde explora os recursos geotérmicos de alta entalpia aí existentes através, fundamentalmente, de duas centrais geotérmicas: as centrais do Pico Vermelho e a da Ribeira Grande. A potência instalada nas duas centrais totaliza 23 MWe (13 MWe na do Pico Vermelho e 10 MWe na da Ribeira Grande), colocando assim Portugal na 17ª posição do ranking Europeu da Geotermia. Actualmente, 37% da energia eléctrica consumida em S. Miguel é de origem geotérmica (Ponte, 2010).

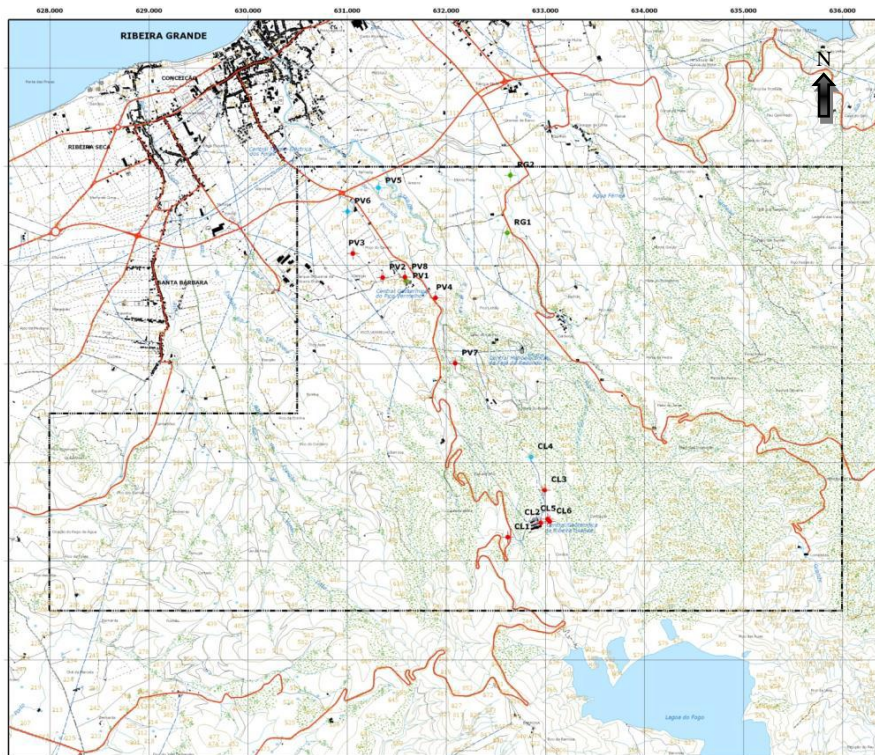


Figura 3.5 – Campo geotérmico de alta entalpia da Ribeira Grande (Ponte, 2010).

#### Baixa Entalpia

Os recursos de baixa entalpia estão presentes na forma de fumarolas e de águas termais. Na Ribeira Grande existem duas estâncias termais: as Termas do Porto Formoso (ou Ladeira da Velha) (em estado de degradação) e as Termas das Caldeiras da Ribeira Grande. Estas termas foram abertas em 1811 e 1873, respectivamente.

### 3. Geotermia em Portugal

Na figura 3.6 estão representadas as principais manifestações hidrotermais superficiais do concelho da Ribeira Grande (adaptado de Freire, 2006 e IGM, 1999) incluindo furos, em que se obtiveram temperaturas superiores a 20°C. Da mesma, constata-se que as freguesias do concelho da Ribeira Grande abrangidas pelas manifestações geotérmicas são (da esquerda para a direita): Ribeira Seca, Conceição, Matriz, Ribeirinha e Porto Formoso.

Para além das manifestações geotérmicas representadas na Figura 3.6, referem-se aqui mais dois locais: a) são fumarolas, solo aquecido e emissões de dióxido de carbono difuso do solo em zona habitacional na freguesia da Ribeira Seca; b) zona no Bairro de Santa Luzia (Ribeira Grande) onde, aquando da abertura das fundações de habitação, foram detectadas temperaturas no solo relativamente elevadas.

Das manifestações hidrotermais representadas na Figura 3.6, pelo menos três, que serão descritas em seguida, tiveram ou tem potencial de aplicabilidade em balneoterapia: as termas das Caldeiras da Ribeira Grande, as termas da Ladeira da Velha ou do Porto Formoso e as termas da Caldeira Velha.

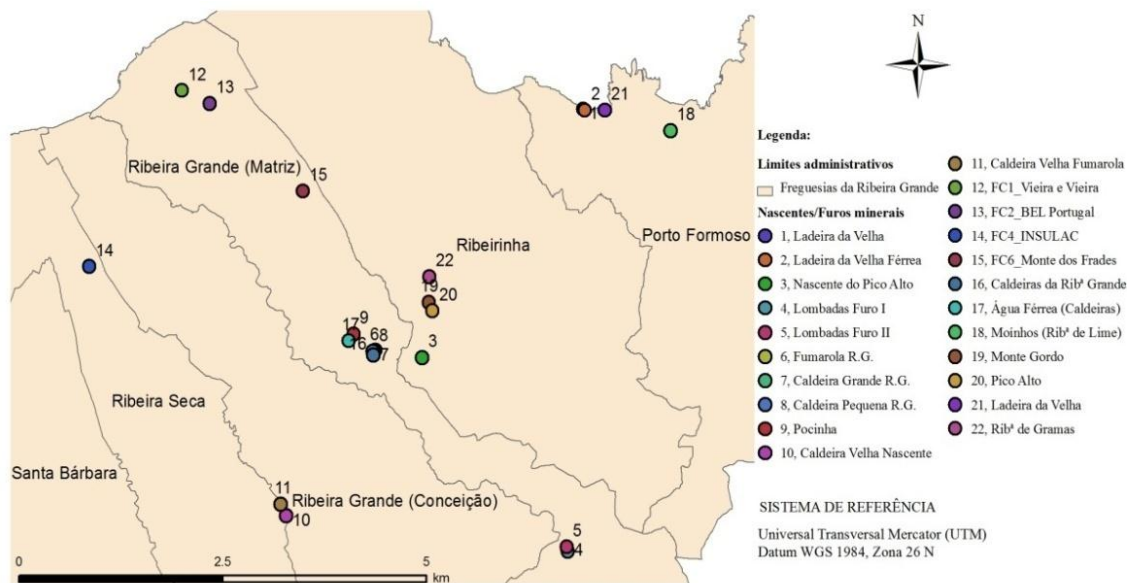


Figura 3.6 – Manifestações geotérmicas nas freguesias da cidade da Ribeira Grande (adaptado de Freire, 2006 e IGM, 1999).

#### 3.3.1.1.1. Área Geotérmica da Caldeira Velha

A zona da Caldeira Velha pertence à freguesia da Conceição do concelho da Ribeira Grande, e localiza-se na vertente norte do Maciço Vulcânico do Fogo, numa fractura importante deste mesmo maciço (Soares de Sousa *et al.*, 2004).



A Assembleia Legislativa Regional dos Açores, através do Decreto Legislativo Regional nº 3/2004, classificou a Caldeira Velha como Monumento Natural Regional. Um dos motivos desta classificação foi “a sua raridade, elevada importância científica, paisagística e social, bem como inequívoco interesse turístico, recreativo e cultural” (Soares de Sousa *et al.*, 2004).

Na segunda metade do século XIX o Director da Estação Médica do Vale das Furnas solicitou a presença de Ferdinand Fouqué (químico francês) para uma análise das águas do Vale das Furnas. Fouqué analisou também as águas da Caldeira Velha, registando a sua elevada acidez (Soares de Sousa *et al.*, 2004).

Em 1838 o médico inglês Joseph Bullar e seu irmão Harry Bullar estiveram em S. Miguel e visitaram a Caldeira Velha. Os irmãos publicaram um livro onde descreviam a sua visita, o livro intitulava-se “Um Inverno nos Açores e um Verão no Vale das Furnas”. Estes descrevem a Caldeira Velha como um “Caldeirão fervente [que] fica situado na direcção sudoeste das Caldeiras e, em linha recta, a pouco mais de duas milhas de distância destas. Mas, para lá chegar de burro, é preciso dar uma volta de duas horas através das montanhas” e também “a Caldeira Velha é um charco de água lodosa, branca, de trinta pés de comprimento por vinte de largo, um pouco semelhante à caldeira de cal que os pedreiros fazem quando preparam argamassas para uma casa” (Soares de Sousa *et al.*, 2004). A visão dos irmãos Bullar era muito diferente da actual pelo facto da Caldeira Velha já não apresentar uma cor branca, mas sim castanho-avermelhada devida à sua elevada ferruginosidade.



Figura 3.7 – Manifestações hidrotermais na zona da Caldeira Velha: a) Piscina da Caldeira Velha, b) fumarola da Caldeira Velha

No seu livro, os irmãos Bullar fazem ainda uma descrição da possível génese da Caldeira Velha a qual se transcreve a seguir:

“Sucessivas erupções de lava e pedra pomes, seguidas ou precedidas de torrentes de escórias, que ao caírem, nas vertentes ou nas proximidades se teriam amontoado em pontas aguçadas em certos sítios e em escavações côncavas noutros, ter-se-iam dividido em secções,

assentando ou formando crosta onde quer que a lava estivera em ebulição. Sucedendo-se novas inundações de pedra-pomes e escórias, voltou a ferver o caldeirão, acrescentando novos dentes à cratera já serrada. Acabada finalmente a erupção, todo o fundo da taça ficou cheio e aplanado com os detritos e coberto de uma camada de lava. Deve ter-se seguido um sismo oscilatório; desmoronam-se as paredes da cratera e caem; enormes massas de lava, despedaçadas ou esboroadas, rolam no solo, com estrondo; larga abertura, o lábio da cratera, se rasga em direcção ao mar, o que dantes era confuso, mais confuso se torna ainda. Volvem os séculos e tudo se reveste de verde, excepto as rugosas massas dentadas de pedra cinzenta que aparecem através da urze a sudoeste e a este e os penhascos escarpados que juncam o fundo do vale e não apresentam outro revestimento senão o dos pequenos líquenes prateados” (Soares de Sousa *et al.*, 2004).

De acordo com Forjaz (1988), a nascente termal da Caldeira Velha pertence ao campo fumarólico do complexo vulcânico do Fogo e situa-se numa falha deste mesmo complexo.

Na Tabela 3.2 faz-se um resumo da caracterização das manifestações hidrotermais de fluidos superficiais na zona da Caldeira Velha ao longo dos anos.

A água da nascente da Caldeira Velha, após misturada com água da ribeira e represada num pequeno dique edificado em secção transversal à ribeira e nas imediações da nascente, é utilizada actualmente como um local de banhos, constituindo-se como um dos mais importantes destinos turísticos de S. Miguel.

Tabela 3.2 – Classificação das águas da área da Caldeira Velha (Soares de Sousa *et al.*, 2004; Freire, 2006).

Classificação das águas da Caldeira Velha					
Autor	Data	Descrição	Altitude (m)	Temperatura (°C)	PH
Zbyszewski	1961	Caldeira: Sulfatada e alumínica	315	90,0	3,13
		Ribeira: Alcanina ferruginosa	328	25,2	-
Medeiros	1964	Caldeira: Sulfatada, alumínica e ácida	315	98,2	3,13
Pedro Freire	2005	Fumarola	345,8	93,7	2,23
		Nascente	400	36,2	4,28

#### 3.3.1.1.2. Ladeira da Velha

A Ladeira da Velha enquadra-se geograficamente na freguesia do Porto Formoso do concelho da Ribeira Grande. Nesta zona existe uma nascente mineral com uma temperatura de, aproximadamente, 30°C. Antigamente essa nascente era muito procurada pelas suas propriedades terapêuticas, pelo que foi construída uma casa de repouso para os doentes que se serviam destas águas (Figura 3.8). Actualmente tanto a casa de repouso, como as termas estão abandonadas e em ruínas (Soares de Sousa *et al.*, 2004).



Figura 3.8 – Casa de repouso em ruínas (2010).

A primeira referência às águas da Ladeira da Velha foi feita em 1873 por Fouqué. A classificação de Fouqué (1872) e de Carvalho (1955) só estão em concordância na temperatura desta água, 30°C e 30,3°C, respectivamente. Além disso, Fouqué diz na sua monografia, que não pode garantir a temperatura desta água, porque determinou esta temperatura num momento em que o rochedo, de cujas fendas a água brota, estava sob a incidência dum «sol ardente» (Carvalho, 1955).

A segunda análise desta água foi feita por Lepierre em 1931. Esta análise/classificação tem mais pontos em comum com a de Herculano de Carvalho (1954) do que a de Fouqué (1872). A tabela 3.3 foi elaborada por Herculano de Carvalho como quadro comparativo entre as duas análises (Carvalho, 1955).

Tabela 3.3 - Quadro comparativo entre a análise de Lepierre (1931) e a de Herculano de Carvalho (1954) (Carvalho, 1955).

Análise:	1931	1953	Unidades	Diferença
Resíduo Seco	286,4	288,8	mg/l	0,8%
Alcalinidade	2,16	2,16	mval	0»
Cloreto (Cl)	19,9	17,4	mg/l	13»
CO <sub>2</sub> total	1,520	1,496	»	1,6»
Radão (Rn)	0,42	0,43	mμC	2,6»

No “Estudo Analítico das Águas Termais”, Carvalho (1955) faz uma classificação oficial e outra própria. Segundo a classificação oficial, a água da Ladeira da Velha está englobada nas águas carbonatadas sódicas, gaso-carbónicas. No entanto, esta distingue-se das águas de Portugal continental pelas suas características próprias, muito diferentes das águas que se englobam no seu grupo e também, porque as águas da Ladeira da Velha têm muita pouca salinidade. Herculano de Carvalho (1955) acrescenta “Sem preocupações de obediência a qualquer classificação geral, direi que ela é uma água *hipotermal*, bastante *gaso-carbónica*, sódica e cálcica, levemente bicarbonatada e acentuadamente *manganésica*.”

A composição desta água indica-a como uma água minero-medicinal, com características muito próprias, logo com propriedades terapêuticas diferentes (Carvalho, 1955).

No decurso desta tese, em 11 de Setembro de 2010, visitaram-se as termas da Ladeira da Velha. As infra-estruturas das termas encontram-se em ruínas e abandonadas. Foram identificadas a casa de guarida dos doentes, num estado degradado e um tanque das termas da Ladeira da Velha, em estado mais conservado do que a casa, mas em abandono. Este pequeno tanque termal, local onde os doentes se banhavam, encontra-se a uma distância de 5-7 m do mar.

Com é visível na Figura 3.9, a água das termas da Ladeira da Velha apresentam um aspecto translúcido. Nestas termas foram medidas duas temperaturas, a primeira temperatura medida foi de 30,1°C na zona de entrada de água nas termas, indicada na Figura 3.9 com um triângulo. A segunda temperatura de 27,8°C foi medida a meio do tanque das termas, como indicado através de um quadrado na Figura 3.9. Essas temperaturas são muito similares às análises apresentadas anteriormente.





Figura 3.9 – Termas da Ladeira da Velha em abandono (2010).

Num raio de 10 m do tanque termal e a cerca de 2 m do mar deparamos com uma poça de água, de cor avermelhada, com uma profundidade de cerca de 0,10 m. Ao medirmos a temperatura dessa água verificamos que esta tinha uma temperatura superior à do tanque, 33,1°C. Todas essas características desta água sugerem que seja ferruginosa e que seja oriunda de uma fonte diferente da existente no tanque das termas da Ladeira da Velha.



Figura 3.10 – a) Poça de água na Ladeira da Velha; b) Poça de água na Ladeira da Velha e a aproximação ao mar.

#### 3.3.2.1.3. Caldeiras da Ribeira Grande

As Caldeiras da Ribeira Grande situam-se na freguesia da Matriz. As águas que brotam neste local são denominadas de sulfurosas e atingem temperaturas de 69,1°C na Caldeira Pequena e de 54,8°C na Caldeira Grande. Consideram-se que as águas das Caldeiras são boas para o reumatismo e para a pele, sendo utilizadas pelos residentes tanto para terapia como para higiene (Livro, 2006).

Ao longo dos anos, são muitas as referências a este lugar da Ribeira Grande devido fundamentalmente às águas termais existentes. A primeira referência foi feita, provavelmente, pelo Doutor Gaspar Frutuoso, no quarto livro de “Saudades da Terra”, onde a sua descrição espacial corresponde à localização actual das Caldeiras da Ribeira Grande. Transcrevem-se aqui dois excertos dessa obra que descrevem as características das águas no século XVI quanto à cor, temperatura e utilização.

*“Além do lugar onde disse que estivera uma fábrica de pedra hume, perto de meia légua da vila da Ribeira Grande, antre ela e a serra, está uma concavidade que terá cinco ou seis alqueires de terra, cercada de umas quebradas, onde já se tirou muita pedra hume, de pedreiras que ali há dela; e no tempo antigo, antes de tirar dali a pedra, estavam umas caldeiras ou furnas, como covas pequenas na mesma terra, que ferviam com olhos de água e polme; mas depois se deixou de tirar a pedra hume, se abriram estas covas doutra maneira, mais em número e mais bravas e espantosas que dantes, de tal maneira que, tirando serem mais pequenas, quase são tão furiosas como as Furnas que estão à parte do oriente [...].”*

*“Dali a sete braças de dez palmos cada uma, para a banda da serra, ou do sul, está um caldeirão pequeno e raso com a face da terra, de água clara de tanta quentura, que se não pode aguardar com a mão, senão, metendo-a e tirando-a logo, que é da mesma quentura da furna da água clara das Furnas, e como nela, também neste caldeirão de podem pelar cabritos; pegado com ele estão muitos olheiros rasos de água clara fervendo, uns de água quente, mas não tanto como a do caldeirão, outros estão fervendo, seno a água doce e fria. Antre estas caldeiras estão muitos resfolgadouros por onde sai fumo e quentura, que em alguns lugares lhe não pode aguardar a mão, e podem neles assar ovos. A cor da terra (antre a qual as caldeiras estão) é de pedra hume, como cal cizenta, da mesma maneira da das Furnas, e o fumo que sai delas também cheira a enxofre, como o das Furnas;”*

O livro intitulado “Caldeiras da Ribeira Grande” de Teodoro (2003) faz referência aos vários autores que visitaram as Caldeiras e que publicaram as suas crónicas. O primeiro cronista que escreve explicitamente sobre as Caldeiras é Frei Diogo das Chagas, da ilha das Flores que descreve as caldeiras da seguinte forma: *“fogos [...] acima dela [ha] semelhantes aos das furnas, em cujas agoas, se uão também tomar tomar banhos e algumas pessoas se achão muito*

*bem com elas // como eu experimentei [sic] o Setembro do anno 1643 [...]*”, o franciscano no seu livro também descreve que as águas era utilizadas para a cura de enfermidades.

No<sup>1</sup> século XIX as Caldeiras da Ribeira Grande passaram a ser o ex-líbris da então vila da Ribeira Grande. As Caldeiras eram procuradas pela beleza da sua paisagem, mas especialmente pelas águas terapêuticas que por ali corriam. Sendo assim, a 2 de Março de 1811 foram abertas as termas das Caldeiras da Ribeira Grande (Figura 3.11) pela Câmara Municipal da Ribeira Grande.

Ao longo dos anos, estrangeiros e portugueses visitaram as Caldeiras da Ribeira Grande para férias, por curiosidade ou para estudo. Passaram pelas Caldeiras nomes como Thomas Ashe, John W. Webster, Captain Boid, os irmãos Buller e Ferdinand.

Thomas Ashe ano referiu que as termas das Caldeiras da Ribeira Grande eram limpas, bem cuidadas e com águas de boas características terapêuticas. Referiu também que as Caldeiras eram mais bem frequentadas que as das Furnas.

Captain Boid, em 1832, faz uma descrição do vale das Caldeiras “[No vale] [...] encontra-se uma nascente de água fresca que, ao ser requisitado um banho, é levada por canais para as caldeiras de lama, onde, com rapidez incrível, atinge o ponto de ebulição, formando bolhas com grande violência e impregnando-se de todos os ingredientes minerais e virtudes das lamas. É então conduzida para os balneários onde se tempera conforme o calor desejado e se regula de acordo com as necessidades do doente.”

Ao contrário dos autores mencionados, os irmãos Bullar (em Abril de 1839) ficaram desolados quando da sua chegada ao vale das Caldeiras, referindo-se a estas como uma “verde solidão”, “casas desertas, tristes e brancas, pareciam habitações de uma cidade dizimada pela peste”. Descrevem também a composição das águas das Caldeiras como: “As águas sulfúreas destas Caldeiras não são tão ricas com as das Furnas e o caudal é relativamente pequeno e insuficiente. São, porém, mais ácidas e menos saponáceas, mas do mesmo modo revigorantes. O seu sabor faz lembrar o da água quente com fumo, levemente acidulada”.

O relatório químico da análise das águas das Caldeiras da Ribeira Grande realizados por Ferdinand Fouqué (1872), Engenheiro Charles Lepiérre (1953) e Engenheiro António Herculano de Carvalho (1953) tiveram como conclusão que “*A nascente de água sulfúrica, hipertermal, ácida, das Caldeiras da Ribeira Grande, tem um caudal reduzido, sendo posteriormente, aumentado com águas pluviais. O que lhe retira a sua pureza minero-medicinal.*”

---

<sup>1</sup> As seguintes referências a visitantes e sobre a história das Caldeiras da Ribeira Grande foram retiradas de Teodoro (2003). Caldeira da Ribeira Grande. Edição Museu da Ribeira Grande.

### 3. Geotermia em Portugal

---

Em 1896 foi criada uma Assembleia Artística das Caldeiras, constituída por uma elite social, que tinha como objectivos *“cultivar a musica e outras artes liberaes e tambem proporcionar aos sócios e suas familias, reuniões dançantes, musicaes, jogos e outras diversões análogas no vale das Caldeiras, concelho da Ribeira Grande”*.

As casas que existiam nas Caldeiras na altura da assembleia eram casas de verão, as famílias vinham passar a época balnear para as Caldeiras. As senhoras depois do almoço juntavam-se na casa da assembleia (que hoje em dia ainda existe) para bordar, enquanto os senhores jogavam as cartas. As termas serviam para higiene pessoal e para os tratamentos terapêuticos aconselhados pelo médico.

As termas estavam a cargo da Câmara da Ribeira Grande, que mantinha um funcionário durante todo o dia para a limpeza e preparação dos banhos nas termas da Caldeiras da Ribeira Grande. Hoje em dia as termas continuam abertas, mas existe pouca procura devido à precariedade do estabelecimento.



Figura 3.11 – a) Caldeira Grande; b) Fachada do edifício das termas das Caldeiras da Ribeira Grande.



## 4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo

### 4.1. Introdução

A componente prática do trabalho de mestrado consistiu numa prospeção mecânica de baixa profundidade com o intuito de medir as temperaturas do solo, procurando anomalias de temperaturas que possam ocorrer na cidade da Ribeira Grande. Esta medição foi executada conforme uma malha pré definida e realizada nos meses de Julho a Setembro de 2010.

O concelho da Ribeira Grande pertence à Ilha de S. Miguel, que por sua vez está incorporada no Arquipélago dos Açores (Figura 4.1). O arquipélago situa-se no Oceano Atlântico entre os 36°55' e 39°43' de Latitude N e 24°26' e 31°16' de Longitude W, a 1570 km de distância de Portugal Continental (Monteiro *et al.*, 2008).

O Arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas que se encontram organizadas por grupos (Figura 4.2). O Grupo Central é composto pela Ilha Terceira, Graciosa, S. Jorge, Pico (na Ilha do Pico situa-se a ponto mais alto de Portugal, a Montanha do Pico com 2 351 m de altitude) e Faial, uma das características deste grupo é a proximidade que existe entre as ilhas, sendo visualmente alcançáveis. A 240 km deste grupo situa-se o Grupo Ocidental constituído pela Ilha das Flores e pela Ilha do Corvo, a última ilha citada tem a particularidade de ser a ilha mais pequena do Arquipélago dos Açores. Por último, o Grupo Oriental que dista cerca de 150 km do Grupo Central. Este grupo é formado pela Ilha de S. Miguel, maior ilha do arquipélago, e Ilha de Santa Maria (Monteiro *et al.*, 2008).

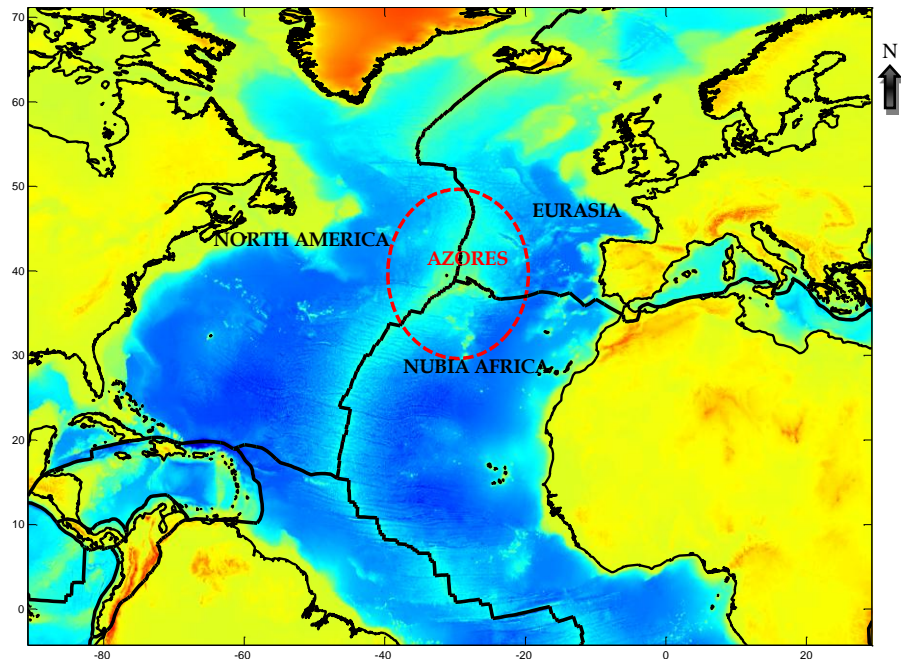


Figura 4.1 – Enquadramento dos Açores no âmbito da tectónica de placas, o denominado ponto triplo onde confluem as placas da Eurásia, da Núbia e Norte Americana (Trota, 2009).

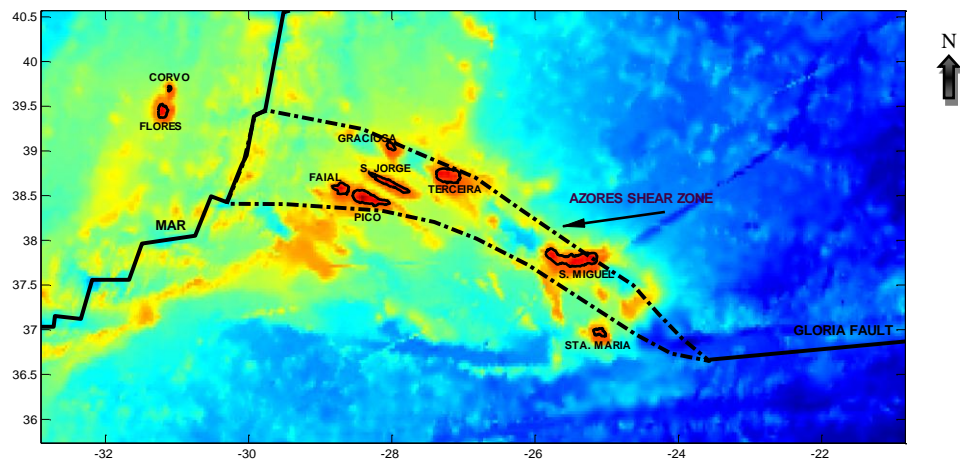


Figura 4.2 – A zona de Cizalhamento dos Açores (Trota, 2009). As ilhas constituem altos submarinos que se elevam acima do nível médio das águas do mar. Na figura estão também representadas a Crista Média Oceânica (CMA) e a Falha da Glória.

A Ilha de S. Miguel está dividida em seis concelhos: Ponta Delgada, Lagoa, Vila Franca, Ribeira Grande e Nordeste. A área de estudo localiza-se no concelho da Ribeira Grande, situado na costa norte da ilha (Figura 4.3).

O trabalho realizou-se na Cidade da Ribeira Grande em cinco das suas catorze freguesias. A saber: Ribeira Seca, Santa Bárbara, Conceição, Matriz e Ribeirinha (Figura 4.4).

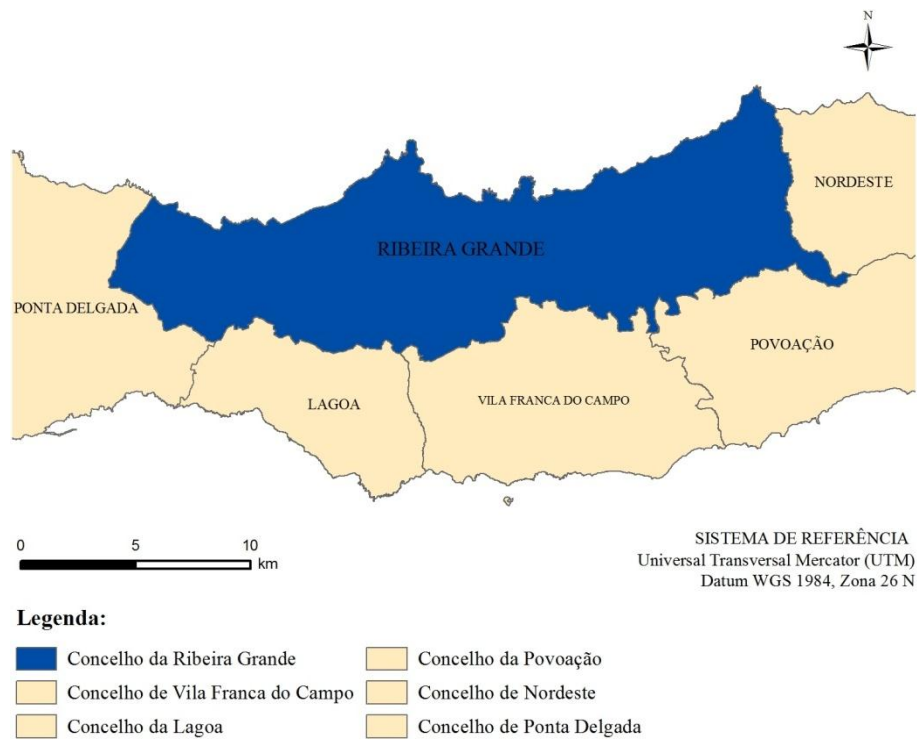


Figura 4.3 – Limites administrativos dos seis concelhos de S. Miguel (adaptado de CAOP, 2011).

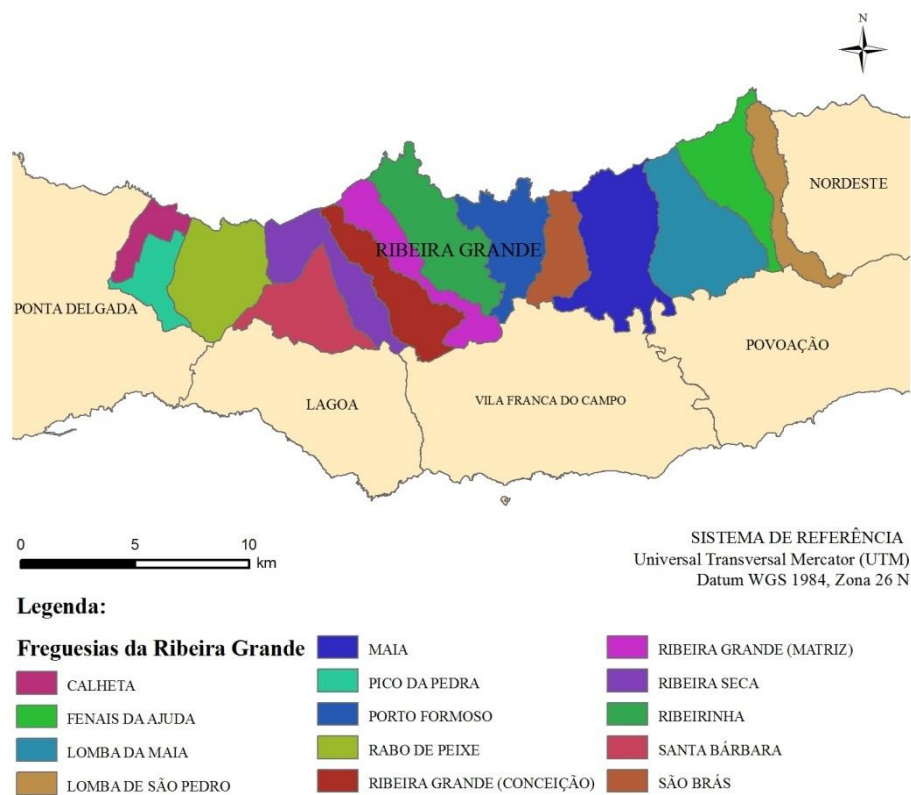


Figura 4.4 – Limites administrativos das freguesias do concelho da Ribeira Grande (adaptado de CAOP, 2011).

O enquadramento tectónico dos Açores é determinado pela junção tripla entre as placas litosféricas Norte Americana, Eurasiática e Núbia. É uma junção em forma de T, com dois ramos de direcção N-S, constituídos pela Dorsal Média do Atlântico, e um terceiro ramo, com direcção aproximada WNW-ESSE (Trotta, 2009).

Todas as ilhas dos Açores têm origem vulcânica. A maior parte dos afloramentos rochosos observados nas ilhas correspondem a rochas vulcânicas, frequentemente de natureza piroclástica. No entanto, na Ilha de Santa Maria, por ser a mais antiga e ter sofrido movimentos verticais importantes (Trotta, 2009), são observáveis importantes afloramentos de rochas sedimentares intercalados na sucessão eruptiva (Cruz, 2004).

A ilha de S. Miguel, segundo Forjaz (1999), compreende seis unidades vulcanoestratigráficas. O primeiro complexo a ser formado foi o do Nordeste, seguindo-se o Complexo Vulcânico da Povoação, o Complexo Vulcânico das Furnas, o Complexo Vulcânico das Sete Cidades, o Complexo Vulcânico do Fogo e por fim o Complexo Vulcânico dos Picos.

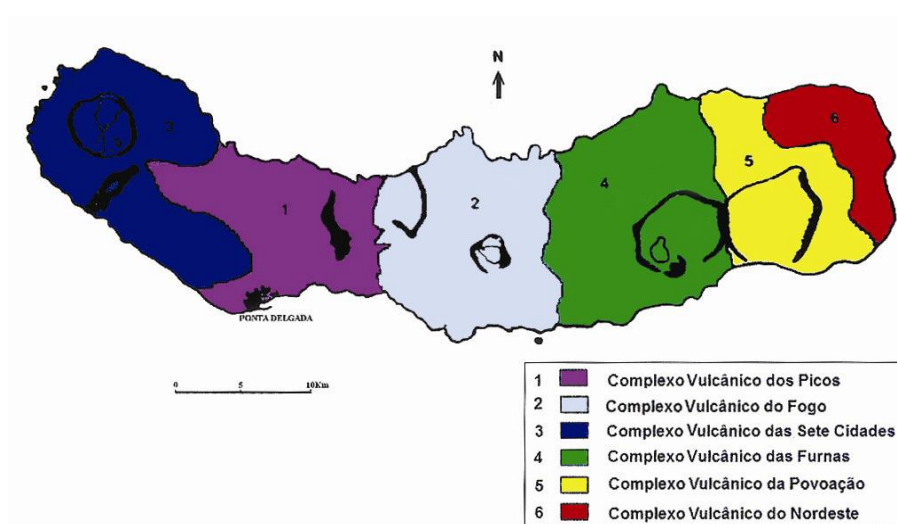


Figura 4.5 – Distribuição dos complexos vulcânicos pela Ilha de S. Miguel (adaptado de Forjaz, 1984, in França et al., 2003).

O complexo vulcânico de Nordeste (4 010 000 anos), considerado como a unidade vulcanoestratigráfica mais antiga da ilha, apresenta características morfológica bastante acidentadas e está cortado por uma densa rede de filões. Este complexo é constituído por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos, sendo que 90% destes são rochas máficas. Devido às suas características litológicas é possível que a actividade vulcânica deste complexo tenha sido do carácter efusivo e fissural. (Freire, 2006).

O segundo complexo vulcânico da Ilha de S. Miguel, adjacente ao complexo do Nordeste, é o complexo vulcânico da Povoação (3 000 000 anos). Este complexo é caracterizado por um vulcão central, existindo uma caldeira no seu topo com um diâmetro na ordem dos 6 km, com uma abertura para o mar (bordo Sul) que provavelmente derivará da erosão marinha. Os produtos vulcânicos provenientes deste complexo estão cobertos pelo complexo vulcânico das Furnas, no entanto é possível destacar o ignimbrito da Povoação, escoadas lávicas basálticas e cones estrombalianos de possível observação na caldeira da Povoação (Freire, 2006).

O complexo das Furnas (750 000 anos) está compreendido entre os complexos da Povoação e do Fogo. Este vulcão corresponde a um aparelho poligenético de composição principalmente traquítica, este já apresentou vários cenários de actividade, como efusivas, explosivas e actividades com formação de caldeiras. Geomorfologicamente este vulcão apresenta duas caldeiras, com cones, anéis de tufos e domas, sendo caracterizado pelas suas estruturas, tanto as dominantes como as de menores dimensões (Freire, 2006).

Na extremidade ocidental da Ilha de S. Miguel encontra-se o complexo vulcânico das Sete Cidades (500 000 anos), que tem como fronteiras o mar e o complexo vulcânico dos Picos. Este aparelho vulcânico apresenta no seu topo uma caldeira, sendo esta caracterizada pela sua forma circular com 5 km de diâmetro e com paredes que atingem alturas de cerca de 400 m. Nos flancos deste vulcão encontram-se materiais piroclásticos de natureza pomítica, bem como cones de escórias e domos traquíticos, no interior da caldeira observam-se cones pomíticos, maars e domos traquíticos.

O complexo vulcânico do Fogo (250 000 anos) situa-se entre a cidade da Ribeira Grande e da Vila Franca do Campo. A morfologia deste vulcão é complexa devido à acção de erosão, à tectónica normal e às estruturas de colapso existentes no local, havendo uma depressão no seu topo ocupada parcialmente pela Lagoa do Fogo. No flanco Norte do vulcão (local das aplicações da geotermia de alta e baixa entalpia) existem alinhamentos de cones de escórias e cursos de água, que materializam as principais estruturas tectónicas deste flanco, com direcções dominantes de NW-SE e NNW-SSE, esta última direcção delimita uma estrutura distensiva, o *graben* da Ribeira Grande (Freire, 2006).

A estrutura do vulcão do Fogo resultou da acumulação de escoadas lávicas, domos e depósitos piroclásticos, maioritariamente de natureza traquítica. A actividade explosiva no interior da caldeira deu origem a depósitos de pedra-pomes de queda, escoadas piroclásticas, surges e mudflows (Freire, 2006).

O complexo vulcânico dos Picos (50 000 anos) é caracterizado por vulcões monogenéticos e localiza-se entre o complexo do Fogo e das Sete Cidades. Este local é marcado



pela existência de diversos alinhamentos de cones de escórias, com crateras bem definidas nas quais se desenvolvem superfícies de escoadas lávicas, *aa* e *pahoehoe*, ainda é possível encontrar-se estruturas hidrovolcânicas: cones de pedra-pomes e domos (associadas ao vulcão do Fogo) (Freire, 2006).

##### 4.1.1. Localização da Área de Estudo

O aproveitamento dos recursos geotérmicos obriga a que os utilizadores se situem próximo da zona de captação. A cidade da Ribeira Grande constitui-se como um grande aglomerado populacional dos Açores, onde existem potenciais utilizadores do calor superficial (baixa entalpia) da crosta terrestre. Nesse sentido optou-se por desenvolver o estudo nas imediações da cidade da Ribeira Grande. Nesse sentido definiu-se uma área de estudo inicial, a qual, com o decurso dos trabalhos, sofreu algumas modificações.

O local alvo de investigação abrangeu as freguesias da Ribeira Seca, Santa Bárbara, Conceição, Matriz e Ribeirinha do concelho da Ribeira Grande (Figura 4.4)

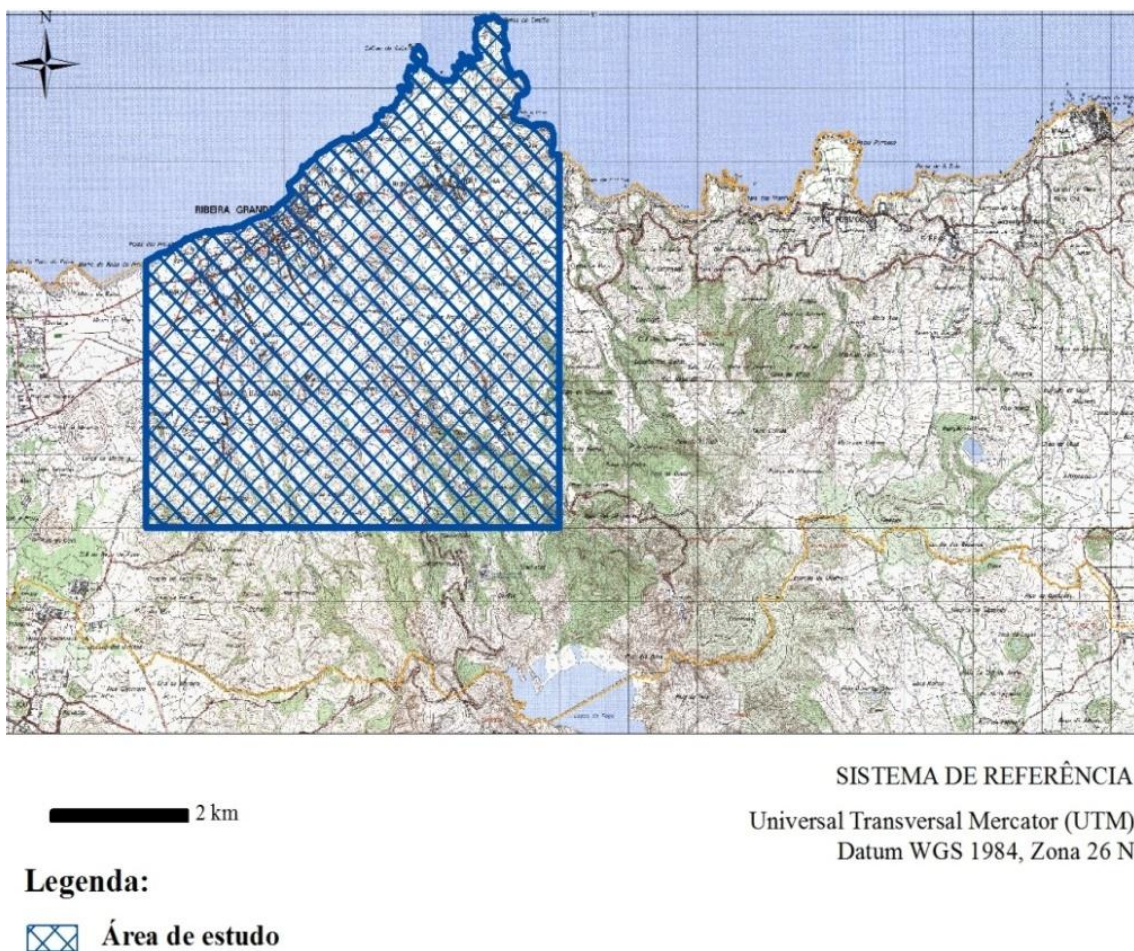


Figura 4.6 – Delimitação da área de estudo na carta militar 1:25 000 (Zona da Ribeira Grande).



Tendo por base a área definida na figura 4.6, implantou-se, em gabinete, uma malha quadrada de pontos de 250 m por 250 m, com uma densidade de cerca de 20 pontos por km<sup>2</sup> (Figura 4.7).

Aquando da implantação dos pontos em campo, seguindo regras de referenciação cartográfica e GPS, foram encontradas dificuldades devido à presença de obstáculos naturais e artificiais coincidentes com os pontos de implantação. Nestes casos, procuram-se localizações próximas das áreas definidas previamente. Após alguns testes preliminares, iniciou-se o trabalho de campo na zona NE da área de estudo, nas proximidades do Farol da Ribeirinha, seguindo depois para a Matriz, caminho das Caldeiras da Ribeira Grande, estrada da Lagoa de Logo, Conceição e, por último, Santa Bárbara.

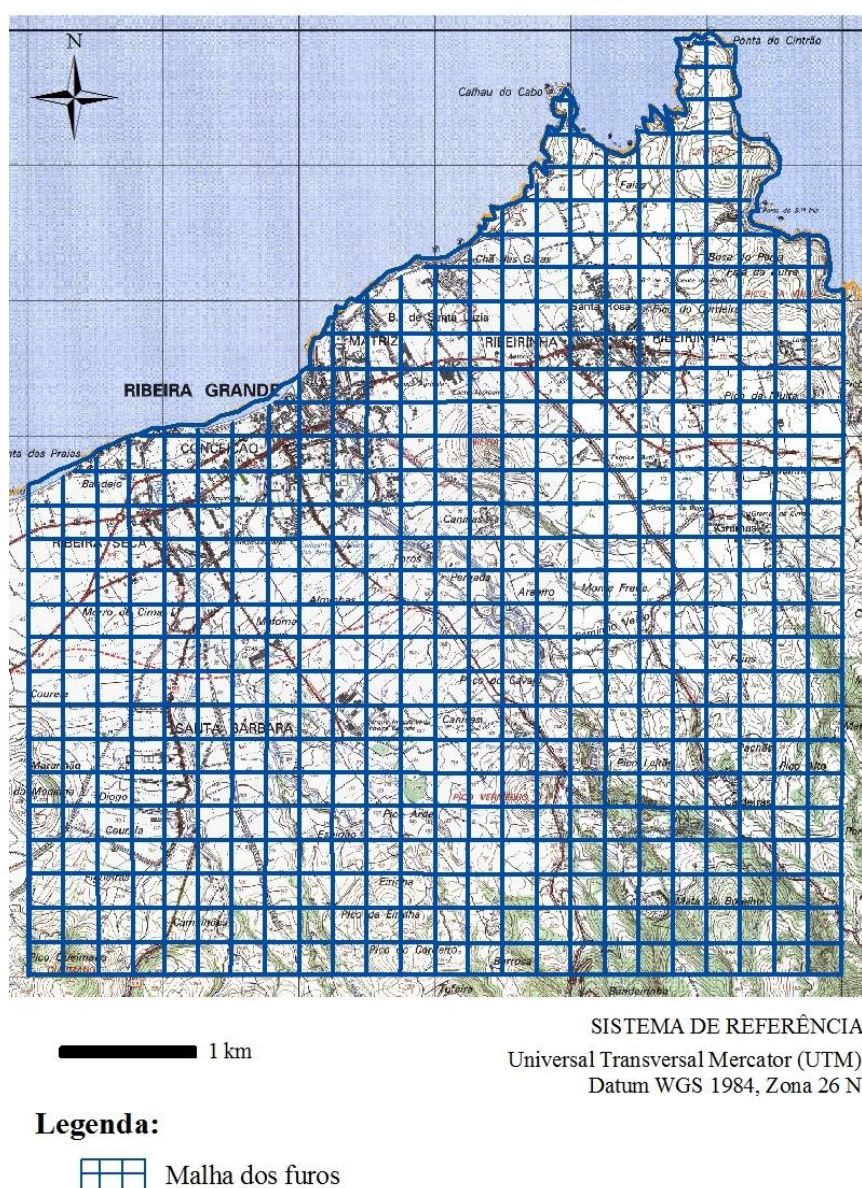


Figura 4.7 – Definição teórica da malha de implantação dos pontos de prospecção.

## 4.2. Metodologia

### 4.2.1. Material Utilizado

Pese embora a simplicidade do estudo (medir temperaturas do solo a cerca de 0.60 m da superfície terrestre), utilizaram-se diversos equipamentos e materiais para alcançar os objectivos previstos. Podemos englobar os materiais/equipamentos utilizados em três grupos: material de apoio, material de medição e material de execução.

Material de Apoio: Carta militar da Ribeira Grande escala 1:25 000 para orientação de campo; Carta militar com os pontos marcados; Fichas de campo (de execução do furo; de medição de temperaturas); Máquina fotográfica digital *Nikon D90*.

Material de Medição. Entende-se por material de medição todo o material para medição das temperaturas, das distâncias de referência e para obtenção de coordenadas. A saber: Termómetro: *FLUKE 179 TRUE RMS MULTIMER*; Termómetro: *Mini-K Thermometer, NiCr-Ni Typ K*; Fita métrica: 5m; *GPS: N Drive Touch XL e Garmin Forerunner 305; HTC Magic: GPS* e aplicação *Google Maps* (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Material de medição: a) Termómetro: *FLUKE 179 TRUE RMS MULTIMER*; b) Termómetro: *Mini-K Thermometer*; c) *GPS: N Drive Touch XL*.

Material de Execução. Este grupo engloba todo o material para execução do furo para medição da temperatura do solo e de aplicação do tubo com água para medição da temperatura. A saber: Estaca; Martelo (“Maço”); Trado mecânico; Tubo: PVC com 0,025 m de diâmetro e 0,60 m de comprimento; Saca-rolhas; Sacho; Rolhas; Funil; Luvas; Pá de jardinagem; Spray para sinalização; Canivete; Picareta (Figura 4.9).





Figura 4.9 – Ilustração do material de execução: a) Estaca; b) Martelo (“Maço”); c) Trado mecânico; d) Tubo PVC; e) Saca-rolhas; f) Sacho; g) Picareta; h) Funil; i) Luvas; j) Pá de jardinagem; k) Spray; l) Canivete; m) Rolhas.

#### 4.2.2. Procedimento Adoptado

A metodologia adoptada para a realização do trabalho de campo foi dividida em duas etapas. Uma primeira que consistiu na prospecção mecânica, com medição simultânea da temperatura do fundo do furo; na segunda etapa efectuaram-se medições sistemáticas da temperatura, após decorridos alguns dias da execução do furo.

A primeira etapa deste trabalho visou na prospecção mecânica de baixa profundidade, efectuando-se um furo no solo a uma profundidade de 0,60 m, e obtendo-se a temperatura do solo neste mesmo sítio. Como o plano previa a abertura de muitos furos, foi necessário encontrar um método rápido e eficaz, passível de execução por meios humanos e de fácil transporte.

Numa fase inicial, os furos de 0,60 m de profundidade foram executados à percussão com uma barra de ferro com 0,03 m de diâmetro 0,70 m de comprimento (Figura 4.10 – 1.a)). Posteriormente, para aumentar a produtividade, recorreu-se a um trado mecânico (Figura 4.10 – 1.b)., acoplado a uma broca helicoidal com cerca de 0,60 m de comprimento e 0,08 m de diâmetro.

Após a realização do furo, colocou-se a sonda do termómetro dentro do furo e, após cinco minutos em estabilização, registava-se a temperatura. Simultaneamente registavam-se a

hora de observação, a temperatura do ar, as coordenadas do local, efectuada uma breve descrição do local, incluindo o registo fotográfico.

Após a remoção da sonda do termómetro, introduzia-se no furo um tubo de PVC com 0,60 m de comprimento e 0,025 m de diâmetro. Este tubo era preenchido com água e tapado com duas rolhas nas extremidades. Depois de se colocar o tubo no furo reajustava-se para que o tubo ficasse bem rodeado por terra e em contacto com o solo, de modo a que a temperatura da água, após estabilização (para que o calor fosse transmitido por condução), fosse representativa da temperatura no exterior do furo.

Para futura identificação do furo, para além da sinalização e numeração do furo, procuravam-se pontos de referência no local, ou então, eram assinaladas marcas nas imediações do furo, medindo-se as distâncias entre os pontos de referência e o furo. Sempre que possível, previamente era solicitada autorização para a realização do furo ao proprietário do terreno.

Após a estabilização da temperatura no furo, passados alguns dias, uma semana, regressou-se aos furos para a medição das temperaturas, a segunda etapa do trabalho de campo. Cerca de uma semana após a execução do furo, procedia-se à medição da temperatura mediante o seguinte procedimento: localização do furo; remoção da rolha de topo com recurso a um saca-rolhas; media-se da temperatura do furo com recurso a um termómetro com sonda. Após a medição, no caso de terem ocorrido perdas por fuga ou evaporação, o nível de água era repostado e o tubo novamente tapado.

Nesta etapa, com uma duração de aproximadamente um mês, a temperatura de cada furo foi medida quatro vezes, registando-se sempre a hora de medição e temperatura do ar.

Os furos foram maioritariamente executados em solo arável, com ocupação agrícola, considerando-se como solo todo o material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível à escavação mecânica e que perde a totalidade da resistência quando em contacto prolongado com a água.



Figura 4.10 – Ilustração do trabalho de campo: 1.a) A execução do furo com martelo, b) com trado; 2. Medição da temperatura a seco; 3. Marcação das coordenadas; 4. Enchimento do tubo; 5. Colocação do tubo; 6. Ajeitar a terra à superfície; 7. Medição com a fita-métrica; 8. Marcação da zona com o spray.



### 4.2.3. Cronologia dos Trabalhos de Campo

O trabalho de campo foi executado entre 14 Julho e 23 de Setembro de 2010, num total de 72 dias. A execução dos furos iniciou-se no dia 14 de Julho e foi concluída em 13 de Agosto de 2010; as medições das temperaturas da segunda etapa começaram uma semana após o primeiro furo, a 21 de Julho, e acabaram a 23 de Setembro de 2010 (Figura 4.11). Os tubos, sempre que possível, foram deixados nos furos para eventuais medições posteriores.

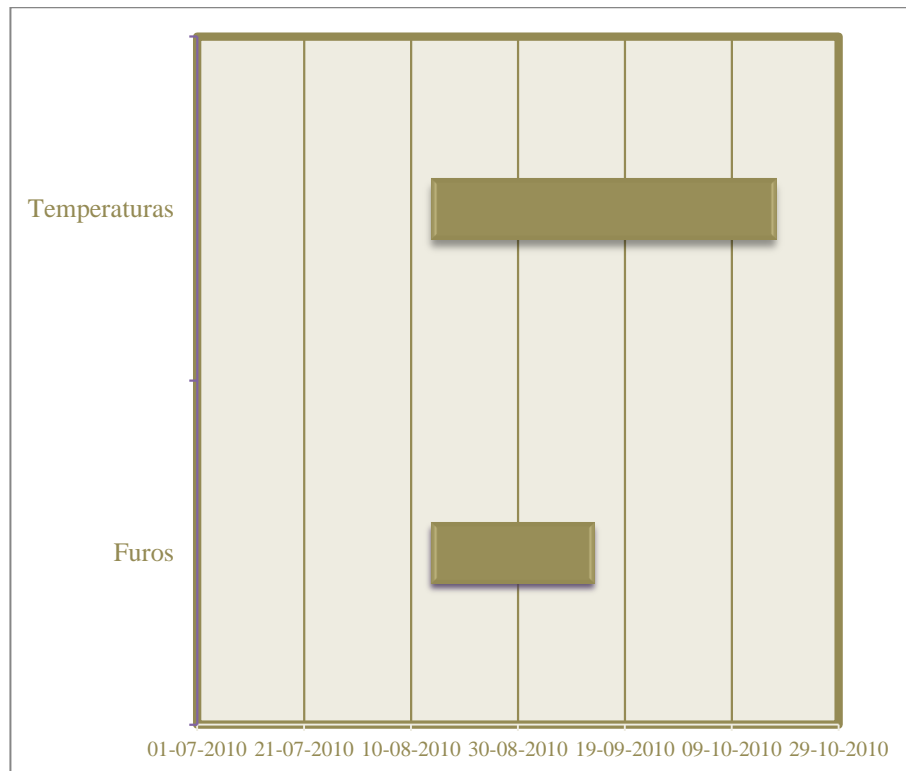


Figura 4.11 – Cronologia do trabalho de campo.

### 4.2.4 Dificuldades Encontradas

Durante a fase de trabalho de campo ocorreram alguns incidentes que foram, globalmente, ultrapassados com maior ou menor dificuldade.

Entre os problemas encontrados destaca-se: o desgaste da sonda de temperatura, sendo mais tarde substituída; a destruição de tubos (vandalismo e ou desconhecimento dos proprietários, não avisados e sensibilizados para a importância da investigação); perda de água dos tubos; necessidade de transposição de obstáculos (artificiais, naturais, ocupação temporária do solo por animais, solo encharcado) para acesso aos locais previstos de amostragem.

### 4.3. Resultados e Tratamento de Dados

Após 72 dias de trabalho de campo executaram-se 200 furos (Anexo I) de prospecção nas freguesias da Ribeirinha, Matriz, Conceição, Santa Bárbara e Ribeira Seca. Neste período foram medidas cerca de 1000 temperaturas no solo (Anexo II); 200 medições da temperatura corresponderam a registos de temperaturas obtidas logo após a execução dos furos e as restantes (800 medições) foram obtidas após a estabilização das temperaturas no interior dos tubos. Neste caso, realizaram-se cerca de 5 medições por furo.

A Figura 4.12 apresenta a localização dos furos realizados, correspondentes aos locais de medição de temperaturas. Após execução, a percentagem de furos danificados, destruídos e perdidos foi de 6,5% (correspondendo a 13 furos).

Como referido anteriormente, o trabalho de campo teve início na freguesia da Ribeirinha, na Ponta do Farol, uma zona sem manifestações superficiais geotérmicas conhecidas. As figuras 4.12 e 4.13 apresentam a localização final dos furos executados, algo diferente do inicialmente previsto. Entre outros aspectos, a diferença entre o previsto e o projectado deveu-se à ocupação do solo, nomeadamente aos acidentes naturais (linhas de água com elevados declives; cones vulcânicos muito escarpados), densa vegetação (fundamentalmente arbórea e arbustiva) e a parque habitacional.

Para a representação cartográfica, recorreu-se a uma ferramenta informática *Google maps* (Figura 4.12) para substituir o mapa inicial de localização dos primeiros furos. Neste mapa estão representados os 200 furos realizados no trabalho de campo, com indicação dos pontos operacionais (azul) e pontos perdidos (vermelho). As coordenadas introduzidas neste mapa foram obtidas com recurso a *GPS*.



Figura 4.12 – Marcação dos pontos no *Google maps*.

Para a transformação do sistema de coordenadas, de geográficas a UTM, recorreu-se a um *software* disponibilizado pelo Instituto Geográfico do Exército (IGEOE, 2010). As coordenadas foram georreferenciadas para o datum WGS\_1984, projecção UTM Zona 26 N.

Tendo por base a ferramenta *ArcMap* do *ArcGis 9.3.1*, calculou-se a área de investigação (Figura 4.13) em aproximadamente 28613 m<sup>2</sup>; o perímetro corresponde a 34498 m e as coordenadas do centróide em WGS84 UTM são M=631510 metros e P= 4185720 metros.

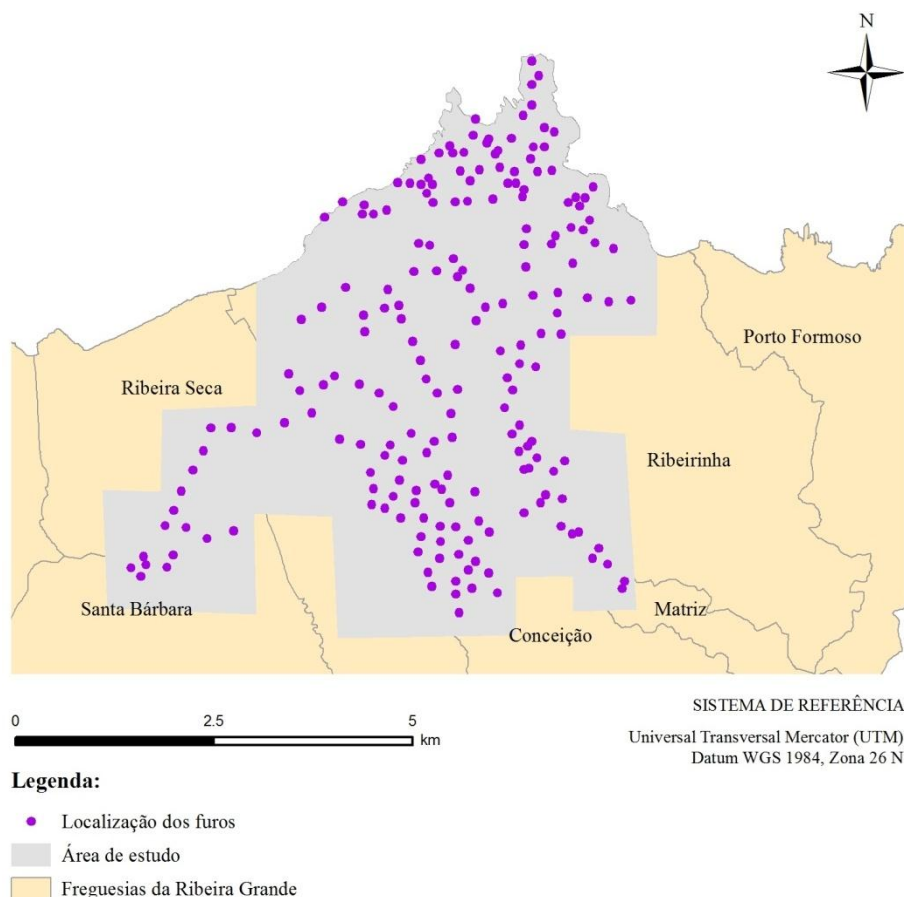


Figura 4.13 – Localização dos pontos e área final do trabalho de campo.

#### 4.3.1. Dados de Estudos Anteriores

Existem estudos anteriores sobre o campo geotérmico da Ribeira Grande, mais propriamente da zona da Lagoa de Fogo, situada na freguesia da Conceição. A construção de duas centrais geotérmicas, actualmente em funcionamento, e, principalmente, a localização dos furos de captação obrigou a uma prospecção intensa e detalhada da área, a qual incluiu, entre outros, a estudos geológicos, geoquímicos, termométricos e geofísicos, com especial ênfase na zona Norte da cidade da Ribeira Grande.

As temperaturas consideradas para a geotermia de baixa entalpia estão compreendidas entre 20 °C e 150 °C. A partir de 150°C já se considera a geotermia como de alta entalpia. As manifestações mais comuns do calor da Terra são as fumarolas, géisers, vulcões e nascentes hidrotermais. No concelho da Ribeira Grande as manifestações superficiais mais correntes correspondem a nascentes hidrotermais e a fumarolas.

A descrição das manifestações geotérmicas, que se situam abaixo de 150°C, no concelho da Ribeira Grande estão apresentadas Tabela 5.1. Incluem-se nesta tabela alguns furos

#### 4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo

executados com o objectivo de captação de água doce do aquífero base da ilha. A temperatura mais elevada foi medida na fumarola da Caldeira Velha, com uma temperatura de 93,7°C (próxima do ponto de ebulição da água à pressão atmosférica), enquanto que a temperatura mais baixa pertence ao segundo furo das Lombadas, com 20,3°C.

Na Tabela 5.1, na coluna Fonte, estão mencionadas as referências de onde foi retirada a informação, nomeadamente, a sigla PF indica o trabalho de Freire (2006) e a sigla IGM indica o relatório do antigo Instituto Geológico e Mineiro, (IGM, 1999).

Tabela 4.1 - Caracterização das manifestações hidrotermais existentes no concelho da Ribeira Grande.

ID	Coordenadas UTM		Nome	Tipo	Temperatura (°C)	Freguesia	Fonte	Ano
	M	P						
1	635766	4187298	Ladeira da Velha	Nascente	30	Porto Formoso	PF - AM51	2005
2	635789	4187290	Ladeira da Velha Férrea	Nascente	34,7	Porto Formoso	PF - AM52	2006
3	633788	4184394	Nascente do Pico Alto	Nascente	70,3	Ribeirinha	PF - AM54	2006
4	635579	4182124	Lombadas Furo I	Furo	22,5	Matriz	PF - AM56	2005
5	635564	4182177	Lombadas Furo II	Furo	20,3	Matriz	PF - AM57	2006
6	633213	4184476	Fumarola R.G.	Fumarola	77,9	Matriz	PF - AM58	2005
7	633200	4184460	Caldeira Grande R.G.	Fumarola	40	Matriz	PF - AM59	2005
8	633186	4184464	Caldeira Pequena R.G.	Fumarola	49,4	Matriz	PF - AM60	2006
9	632950	4184670	Pocinha	Nascente	28,8	Matriz	PF - AM61	2005
10	632123	4182543	Caldeira Velha Nascente	Nascente	36,2	Conceição	PF - AM62	2005
11	632051	4182678	Caldeira Velha Fumarola	Fumarola	93,7	Conceição	PF - AM 63	2006
12	630844	4187518	FC1_Vieira e Vieira	Furo	31,1	Matriz	PF - AM64	2006
13	631184	4187370	FC2_BEL Portugal	Furo	40	Matriz	PF - AM65	1999
14	629709	4185461	FC4_INSULAC	Furo	27,5	Ribeira Seca	PF - AM67	2006
15	632330	4186343	FC6_Monte dos Frades	Furo	26	Matriz	PF - AM68	2006
16	633190	4184420	Caldeiras da Ribª Grande	-	39,6	Matriz	IGM - N2/29	1996
17	632890	4184590	Água Férrea (Caldeiras)	-	30,3	Matriz	IGM - N1/29	1996
18	636840	4187050	Moinhos (Ribª de Lime)	-	20,4	Porto Formoso	IGM - N8/29	1996
19	633875	4185040	Monte Gordo	-	51,0	Ribeirinha	IGM - N22/29	1996
20	633920	4184940	Pico Alto	Nascente	20,6	Ribeirinha	IGM - N23/29	1996
21	636030	4187290	Ladeira da Velha	Nascente	28,3	Porto Formoso	IGM - N24/29	1996
22	633880	4185340	Ribª de Gramas	Ribeira	20,5	Ribeirinha	IGM - N33/29	1996

#### 4.3.2. Dados Obtidos no Campo

Neste subcapítulo vão ser apresentadas as temperaturas registadas durante os trabalhos de campo: as medições das temperaturas a seco e as medições das temperaturas nas quatro semanas seguintes à abertura dos furos.



#### 4.3.2.1. Temperatura a Seco

As temperaturas a seco foram medidas directamente no solo, após a execução dos furos. Tendo por objectivo a medição da temperatura no fundo do furo, procurou-se que a sonda do termómetro atingisse o troço final do furo, recorrendo-se por vezes a um tubo auxiliar para condução da sonda do termómetro.

A figura seguinte (Figura 4.14) mostra os valores em graus centígrados, destas mesmas medições:

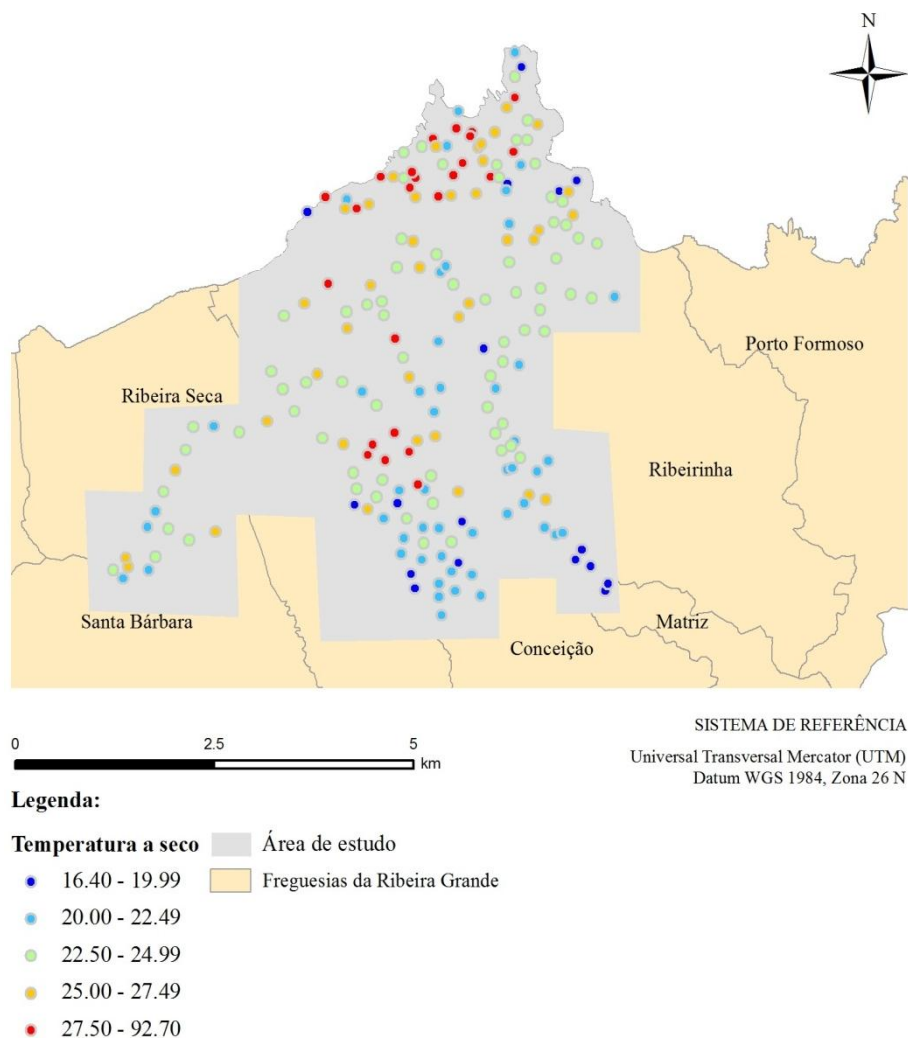


Figura 4.14 – Classificação das temperaturas mediadas a seco em graus centígrados (°C).

A Figura 4.14 apresenta a distribuição das temperaturas medidas a seco em cinco classes. A primeira classe, correspondente ao intervalo  $[16,40 - 19,99]$  °C equivale aos pontos com temperaturas mais baixas do que o limite mínimo para serem consideradas geotermia de baixa entalpia.

Na área em estudo, dos 200 furos realizados, 17 apresentam temperaturas nestas condições, disseminados pelas freguesias da Ribeirinha, Matriz e Conceição. A temperatura mais baixa de todas as registadas na Figura 4.14 corresponde ao furo C093, situado na freguesia da Matriz, no caminho para as Lombadas, com uma temperatura de 16,4°C.

A temperatura mais alta foi de 92,70°C, correspondendo ao furo P141, situado perto de um furo geotérmico da SOGEO, na freguesia da Conceição, estando também associada à presença de fumarolas localizadas a curta distância daquele furo geotérmico.

Quanto às restantes classes apresentadas no mapa Figura 4.14, a classe de menor dimensão, com menor registos, corresponde às temperaturas [25,00 – 27,49] °C, representada apenas por 24 furos. Consequentemente, a classe entre 20 e 25 °C, corresponde à classe com maior número de registos no terreno (71 registos).

A média das temperaturas registadas no mapa é de 24,5°C, sendo um valor com significado no contexto da geotermia de baixa entalpia. Pelo Diagrama de Lindal (Figura 1.3) esta temperatura poderia dar origem a diversos aproveitamentos como a aquacultura e/ou aquecimento de piscinas.

Aquando da execução dos furos do caminho das Lombadas e do caminho da Lagoa de Fogo, próximos da zona da Caldeira Velha, verificou-se que a vegetação e o solo se encontravam húmidos.

##### **4.3.2.2. 1ª Medição de Temperaturas**

A primeira medição fez parte da segunda etapa do trabalho de campo. Esta temperatura foi realizada cerca de uma semana após os furos serem executados, e decorreu entre 21 de Julho e 20 de Agosto de 2010. Na Figura 4.15 estão representados os resultados da primeira medição de temperaturas.

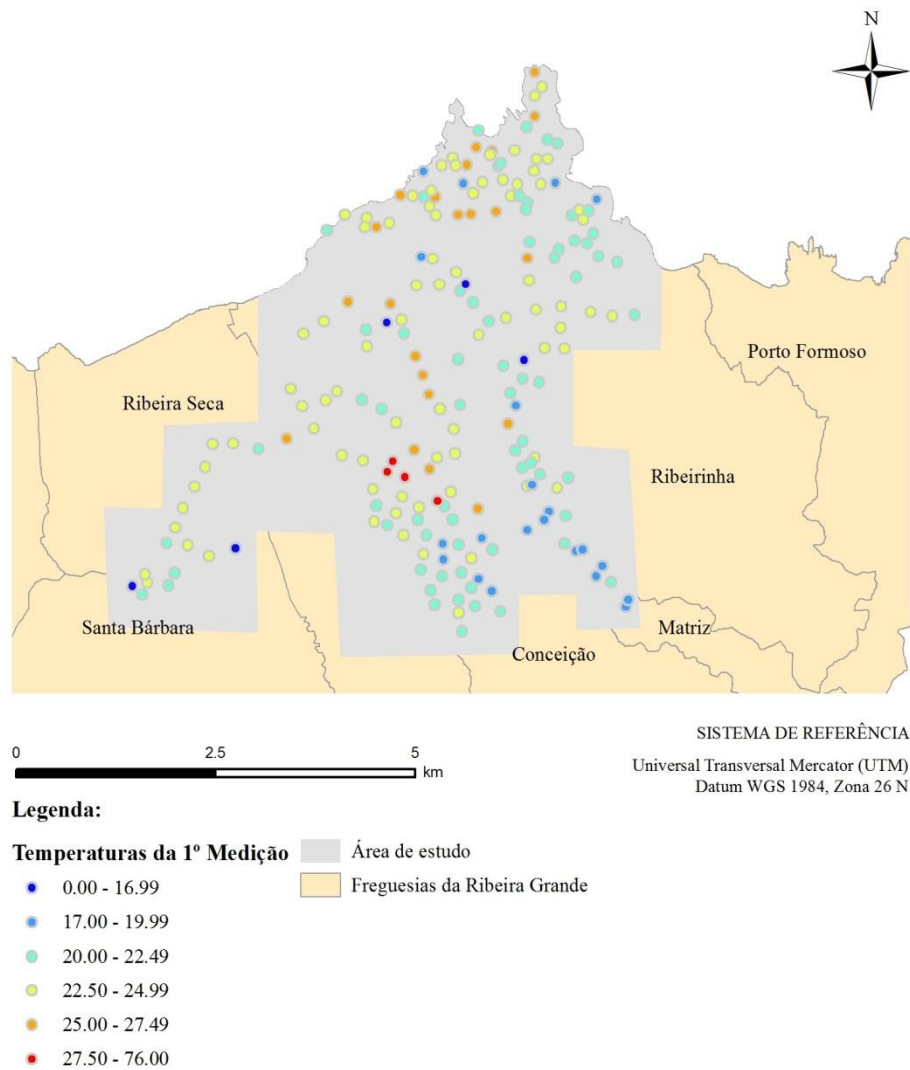


Figura 4.15 – Classificação da primeira medição. As unidades estão representadas em graus centígrados (°C).

À semelhança do que acontece na temperatura a seco, as temperaturas da primeira medição efectuada estão maioritariamente compreendidas na classe dos [22,50 – 24,99] °C. A classe que abrange menos pontos é a classe entre [27,50 – 76,00] °C, com apenas quatro furos. Nesta fase extraviaram-se cinco furos: C080, C085, C163, Q182 e S190, representados na Figura 5.4 como a classe [0,00 – 16,99] °C.

A temperatura mais elevada corresponde novamente ao ponto P141, com uma temperatura de 76°C. A temperatura mais baixa verificou-se no ponto C075 localizado num local sombrio no início do caminho das Caldeiras da Ribeira Grande, com uma temperatura de 17,3 °C. A média da primeira medição de temperaturas foi de 23,4°C.

##### 4.3.2.3. 2ª Medição de Temperaturas

A segunda medição de temperaturas decorreu entre 28 de Julho e 27 de Agosto de 2010, cerca de um mês registos, tal como a 1ª medição. A metodologia adoptada nesta segunda foi igual à medição da primeira.

Na Figura 4.16 pode visualizar-se a distribuição das temperaturas da segunda medição com um padrão similar ao observado na primeira medição.

A classe maioritária continua a ser a classe dos [22,50 – 24,99] °C, com maior número de registos do que nas medições anteriores e uma maior homogeneização dos resultados. A classe com menor dimensão é a classe que abrange as temperaturas de [27,50 – 30,10] °C, com apenas seis pontos.

O número de furos perdidos aumentou de cinco para doze, com eliminação dos furos R010 (Ribeirinha), M064 (Matriz), C077 (Matriz), F109 (Conceição), C124 (Matriz), C126 (Matriz) e PF180 (Matriz). Estes furos estão representados na Figura 4.16 através da classe de temperaturas de [0,00 – 16,99] °C.

O valor mais baixo registado nesta classificação pertence ao furo número R033, situado na freguesia da Ribeirinha, no Pico da Vinha. Aquando da execução deste furo o solo encontrava-se húmido. Esta pode ser uma das razões pelo qual este furo teve a temperatura mais baixa desta gama de valores.

A temperatura máxima continua a corresponder ao ponto P141 com uma temperatura de 80,1°C, verificando-se um aumento da temperatura neste local.

A média dos valores das temperaturas registadas nesta fase é de 23,5°C, muito aproximada à média registada na fase anterior, o que pode indicar estabilização das temperaturas do solo.

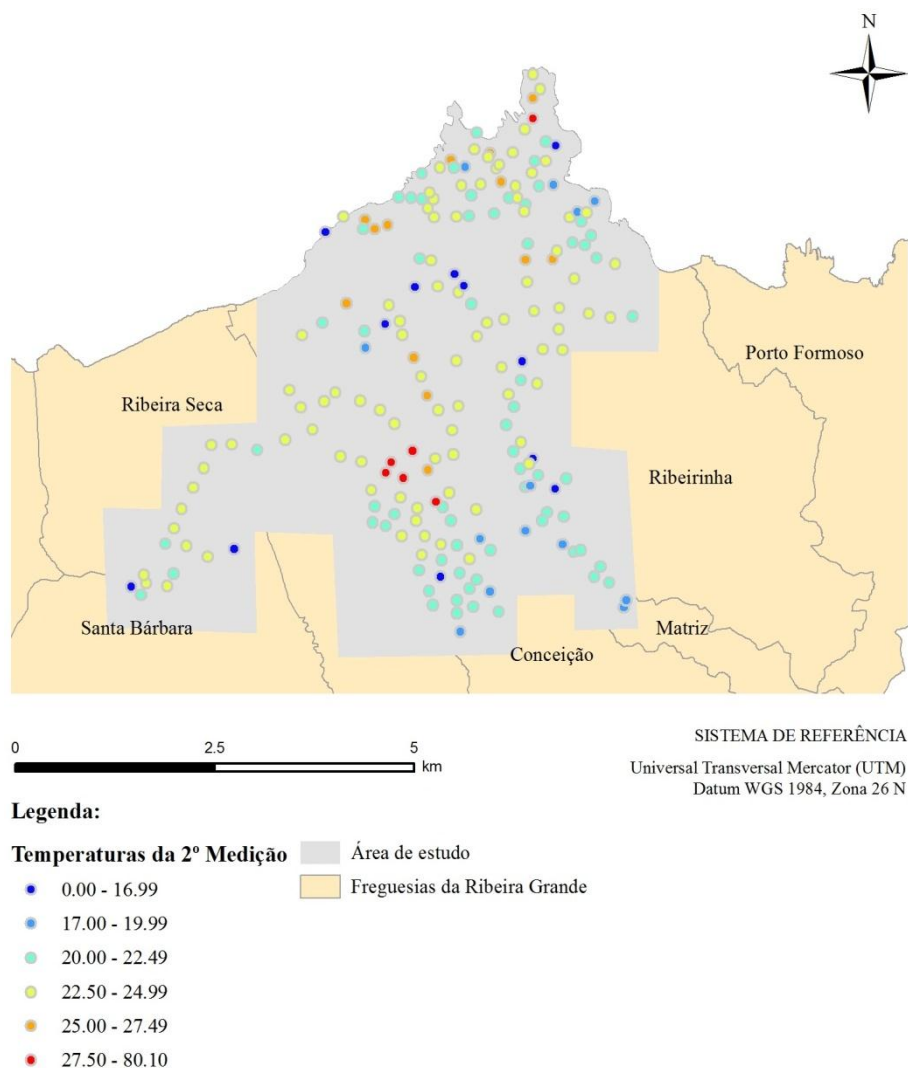


Figura 4.16 – Distribuição das temperaturas da segunda medição (°C).

#### 4.3.2.4. 3ª Medição de Temperaturas

A terceira série de medições teve início a 4 de Agosto e foi concluída a 10 de Setembro de 2010. Com o desaparecimento do furo S196 localizado na freguesia de Santa Bárbara existiam, nesta fase, treze furos inactivos (estes furos estão considerados na Figura 4.17 como a classe [0,00 – 18,99] °C).

Como se tem vindo a verificar nas fases anteriores, a classe com maior representatividade de furos continua a ser a que apresenta temperaturas entre [22,50 – 24,99] °C e a classe [27,50 – 79,30] °C.

O valor máximo da 3ª medição de temperaturas foi de 79.3°C (furo P141) sendo que o valor mais baixo foi de 19,1°C no furo R039, situado na freguesia da Ribeirinha. O valor médio

das temperaturas desta medição é de 23,6°C, subindo apenas 0,1°C relativamente á média da temperatura anterior.

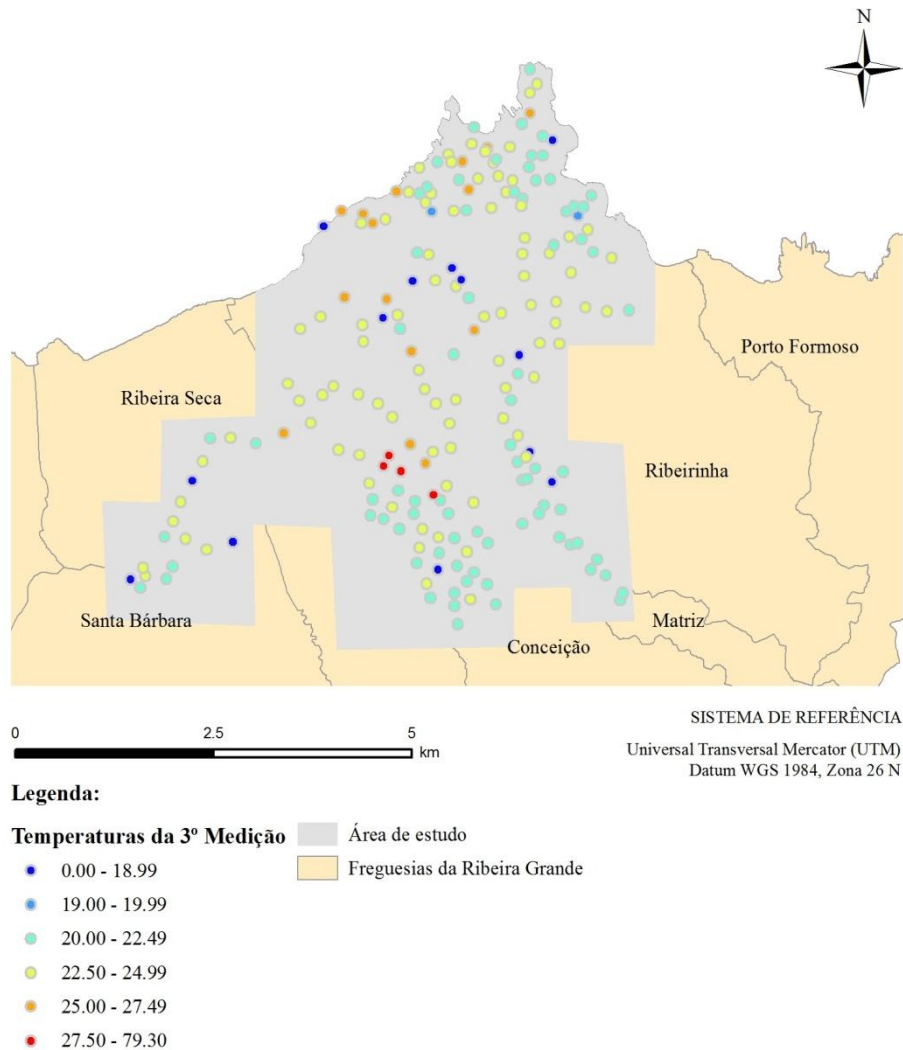


Figura 4.17 – Classificação da temperatura da terceira medição (°C).

#### 4.3.2.5. 4ª Medição de Temperaturas

Esta etapa iniciou-se a 18 de Agosto e terminou a 23 de Setembro, coincidindo com o final do trabalho de campo.

Na figura 4.18 apresenta-se a distribuição de temperaturas relativas à 4ª série de medições de temperatura. A classe predominante continua a ser a que compreende as temperaturas entre [22,50 – 24,99] °C.

A classe menos representada, a classe dos [27,49 – 82,8] °C, apresenta uma nova aquisição, o furo C090, com uma temperatura de 43,7°C, localizado no caminho das Lombadas. Este valor é considerado anómalo, visto que as restantes medições da zona estão na ordem dos

20°C. A explicação para este valor pode estar relacionada com a libertação de CO<sub>2</sub> que despoletou na zona aquando da perfuração de furos a maiores profundidades realizados por outras empresas, esta medida é comprovada pelo desaparecimento e carbonização da vegetação.

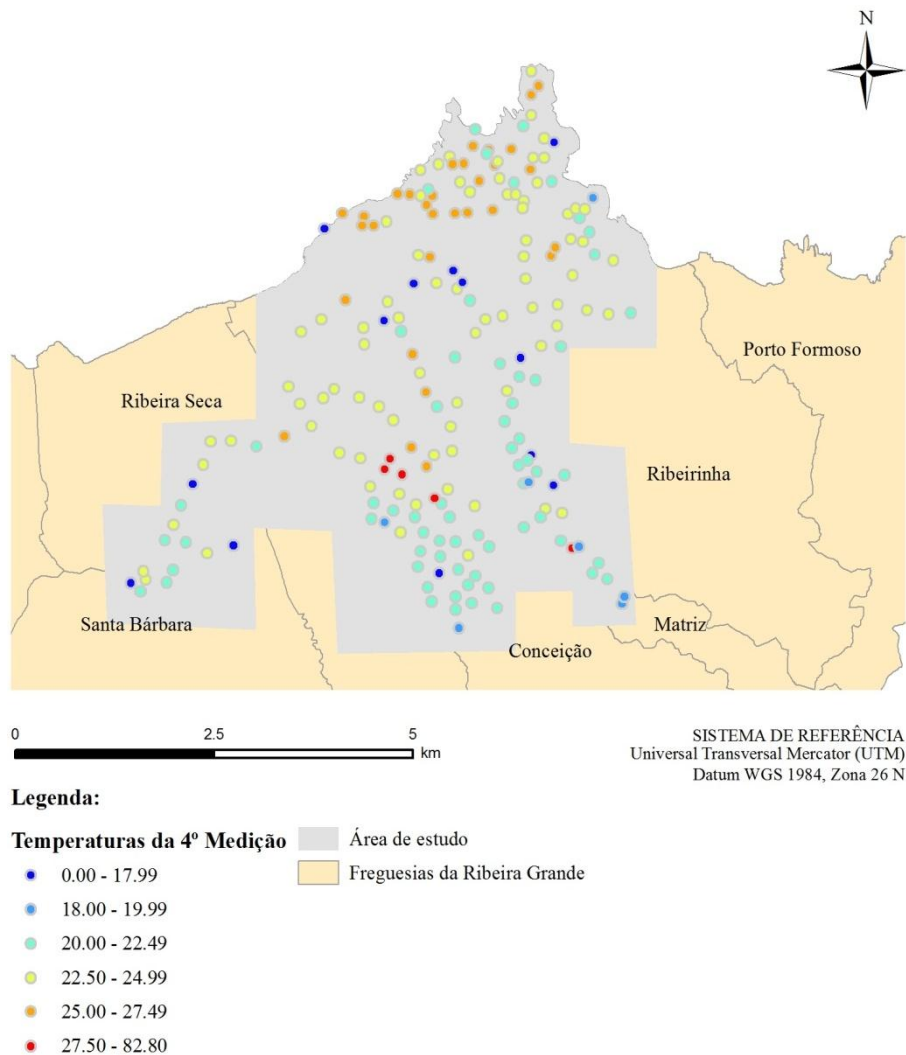


Figura 4.18 – Distribuição das temperaturas da quarta medição (°C).

O valor máximo, e muito instável ao longo das fases de medição, foi registado no furo P141 com uma temperatura de 82,8°C. O valor mais baixo foi de 18,8°C no furo P138, situado na freguesia da Conceição. A média das temperaturas registadas para esta fase foi de 24,0°C.

#### 4.3.2.6. Média das Temperaturas

A Figura 4.19 apresenta a média das temperaturas obtidas para as quatro fases. A classe dominante é a [22,5 – 24,99] °C. A classe correspondente ao menor grupo de furos é a dos [27,50 – 79,55] °C.

A classe [0,00 – 18,99] corresponde ao número de furos extraviados ao longo de todo o trabalho de campo. Os 13 furos perdidos não farão parte da análise média das temperaturas e respectivos estudos associados.

A temperatura mais elevada foi registada no furo P141, com uma média de 79,55°C. A média mais baixa registada, 19,20°C, foi obtida nos furos R033 e C094.

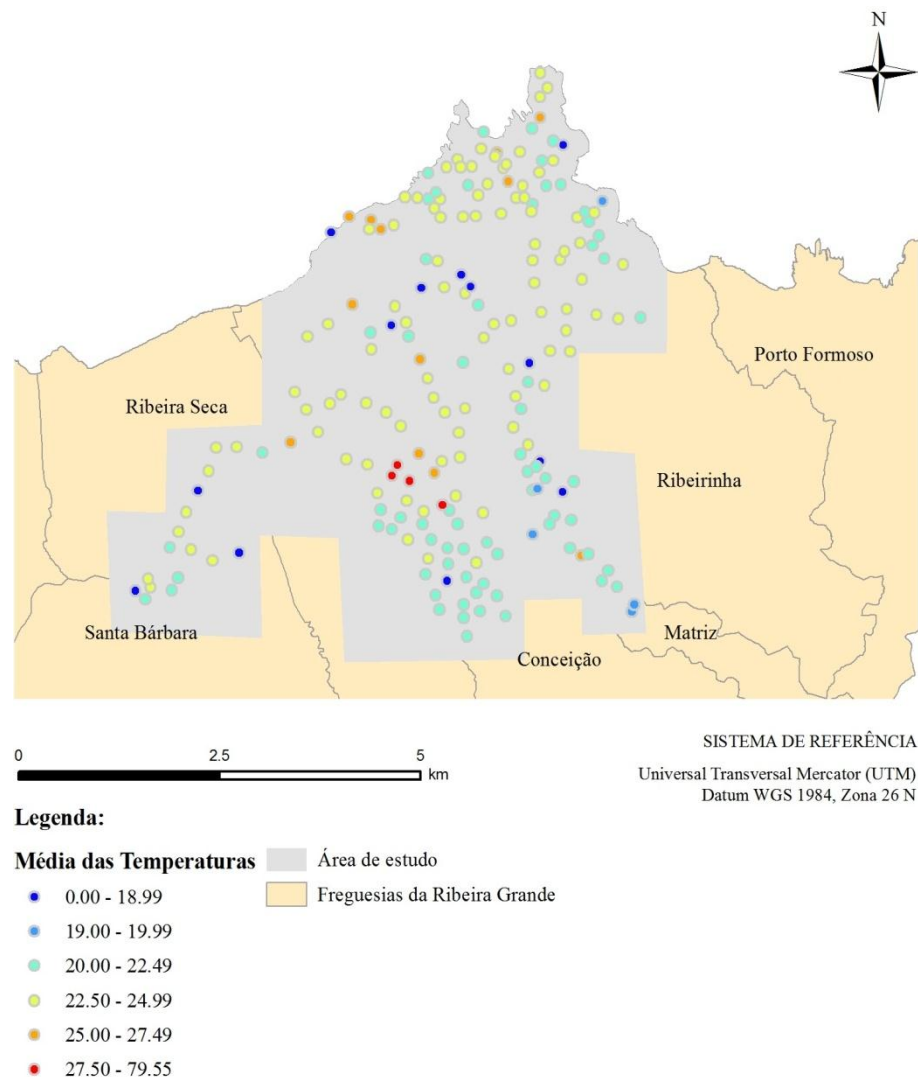


Figura 4.19 – Classificação da média das temperaturas (°C).

#### 4.3.3. Geoestatística

A geoestatística tem como objectivo a caracterização da dispersão espacial e espaço-temporal das grandezas que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais, ou outros fenómenos espaciais onde os atributos se manifestam com uma certa disposição no espaço e/ou no tempo (Soares, 2000), como é o caso da variável em estudo: média das temperaturas. A mesma corresponde à média das temperaturas calculadas nas quatro medições que foram



realizadas nos 200 furos efectuados nos trabalhos de campo, num espaço de tempo de aproximadamente dois meses (21 de Julho a 23 de Setembro).

A funcionalidade da geoestatística, tendo em consideração este caso de estudo, será a caracterização espacial do campo geotérmico da área em estudo, localizada na cidade da Ribeira Grande, com base nas temperaturas amostradas ao longo do trabalho de campo.

A metodologia seguida consiste num conjunto de instrumentos estatísticos que quantificam a continuidade espacial da grandeza em estudo, em modelos de interpolação espacial tendo por base a sua variabilidade estrutural e em modelos de simulação estocástica que quantificam a incerteza ligada ao fenómeno espacial (Soares, 2000). Com base nesta metodologia e consoante os objectivos deste trabalho foram estudados os estatísticos base desta da variável média das temperaturas, seguindo-se de uma análise espacial através da variografia e seguida de uma estimação por krigagem.

A primeira abordagem das características estatísticas foi realizada através da análise univariada. Esta foi realizada através dos estatísticos básicos, que se resumem a medidas de localização da distribuição – média, mediana, máximo, mínimo, quartis, percentis -, medidas de forma e medidas de dispersão (baseado em Almeida, 2007).

Seguidamente, procedeu-se à análise espacial do fenómeno, com recurso à variografia.

O biponto é o elemento medidor da continuidade espacial mais adaptado para este trabalho, uma vez que a variável da média das temperaturas é representada por um conjunto de amostras. O biponto representa um par de pontos separados por um vector  $h$ , que permite a medição de parâmetros como a anisotropia de uma variável  $X$ , ou seja, o modo como a continuidade de  $X$  varia nas diferentes direcções do espaço.

Para uma característica quantitativa  $Z(x)$ , os diagramas de representação dos pares de pontos  $Z(x)$ ;  $Z(x + h)$ , calculados com base no biponto para diferentes valores de  $h$ , são dos estatísticos que contêm informação mais rica sobre a continuidade espacial de  $Z(x)$ . Estes diagramas são denominados de variogramas ou semivariogramas e são representados/calculados pela média aritmética do quadrado das diferenças de todos os pares de pontos ( $N(h)$ ) para vários valores de  $h$  (baseado em Soares, 2000):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5.1)$$

A análise do variograma permite avaliar a relação das amostras da variável através da amplitude( $a$ ) – distância até à qual as variáveis estão correlacionadas materializando-se no gráfico como um patamar ( $C$ ), o efeito pepita ( $C_0$ ) – variabilidade à pequena escala e a anisotropia – representa a relação de amplitudes entre as direcções (Almeida, 2007).

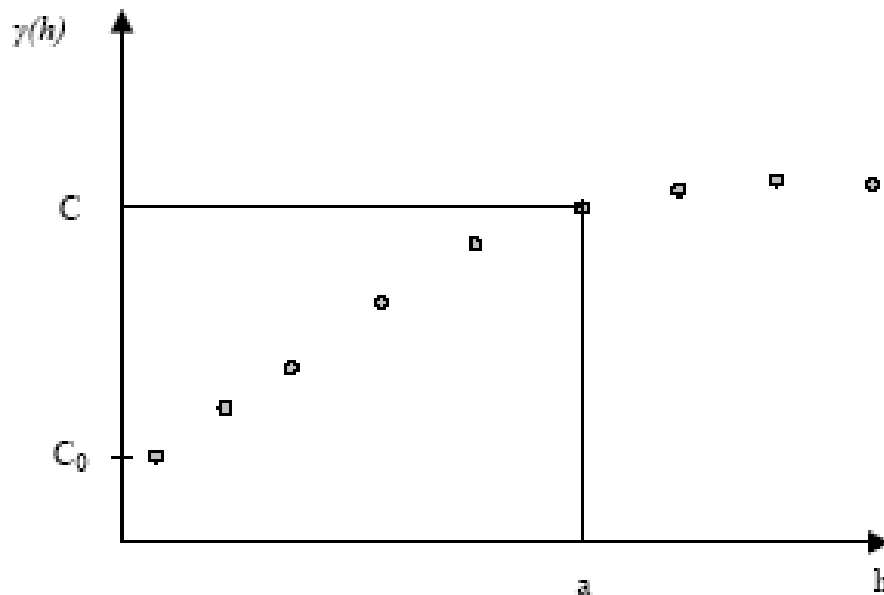


Figura 4.20 – Representação de um variograma (Almeida, 2007).

Uma vez calculados os valores dos variogramas para diferentes passos, com base num conjunto de amostras de uma área, é necessário modelizá-los por uma função geral e representativa, o que significa ajustá-los através de uma curva atenuada média, função de um número reduzido de parâmetros que quantifique a continuidade espacial (Soares, 2000).

A condição de positividade dos modelos limita *a priori* a escolha de funções interpoladoras dos valores experimentais dos variogramas. Assim, a prática geoestatística de modelação de um variograma limita-se a um conjunto restrito de funções definidas positivas – modelos esférico, exponencial, Gaussiano e de potência – que normalmente cobrem a generalidade das situações de dispersão de fenómenos espaciais nas Ciências da Terra e do Ambiente (Soares, 2000).

A última aplicação geoestatística realizada neste trabalho foi a estimação por krigagem. A estimação é um dos métodos geoestatísticos de inferência espacial de uma grandeza num determinado suporte não amostrado  $Z(x_0)$ , localizado genericamente em  $x_0$ , com base numa

combinação linear de valores conhecidos dessa mesma grandeza  $Z(x_\alpha)$  em pontos de coordenadas  $x_\alpha = 1, \dots, N$  (Soares, 2000):

$$[Z(x_0)]^* = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_\alpha Z(x_\alpha) \quad (5.2)$$

Pretende-se que os ponderadores,  $\lambda_\alpha$  resumam dois efeitos extremamente importantes num processo de inferência espacial (Soares, 2000):

- Devem reflectir a maior ou menor “proximidade” estrutural das amostras  $Z(x_\alpha)$  em relação ao ponto a estimar  $Z(x_0)$  e,
- Devem ter o efeito desagregador de eventuais agrupamentos preferenciais de amostras, de modo a evitar o enviesamento causado por estes.

Neste trabalho utilizou-se o estimador geoestatístico krigagem normal. Este estimador linear geoestatístico (5.2) é uma combinação linear do conjunto de  $N$  variáveis vizinhas de  $x_0$  -  $Z(x_\alpha)$ ,  $\alpha = 1, \dots, N$  que cumpre os dois critérios em relação ao erro de estimação: não-enviesamento e variância de estimação mínima (Soares, 2000).

A krigagem assenta num modelo de variograma que tem necessariamente de traduzir as principais características estruturais e de homogeneidade do atributo na área na qual se vai processar a estimação – efeito pepita, estruturas imbricadas e anisotropias. É uma medida da continuidade e da homogeneidade estrutural do processo espacial, do qual conhecemos apenas um conjunto de amostras (Soares, 2000).

Uma imagem estimada é normalmente uma imagem atenuada, em que no espaço entre amostras não só não é criado nenhum elemento que não esteja contido nas amostras, como as características destas são filtradas de modo a serem reproduzidas somente em termos médios. Trata-se de uma imagem atenuada e conservadora da realidade, no sentido da minimização dos desvios em relação à média.

Toda esta análise geoestatística foi realizada através do *software geoMs*, fornecido pela Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

#### 4.3.3.1. Análise Univariada

Tal como já foi referido, a variável estudada é a média da temperatura. Os dados disponíveis são resultado das quatro medições que foram realizadas na segunda etapa do trabalho de campo.

A análise univariada realizada através do *software* utilizado resultou nos esquemas das Figuras 4.21 e 4.22.

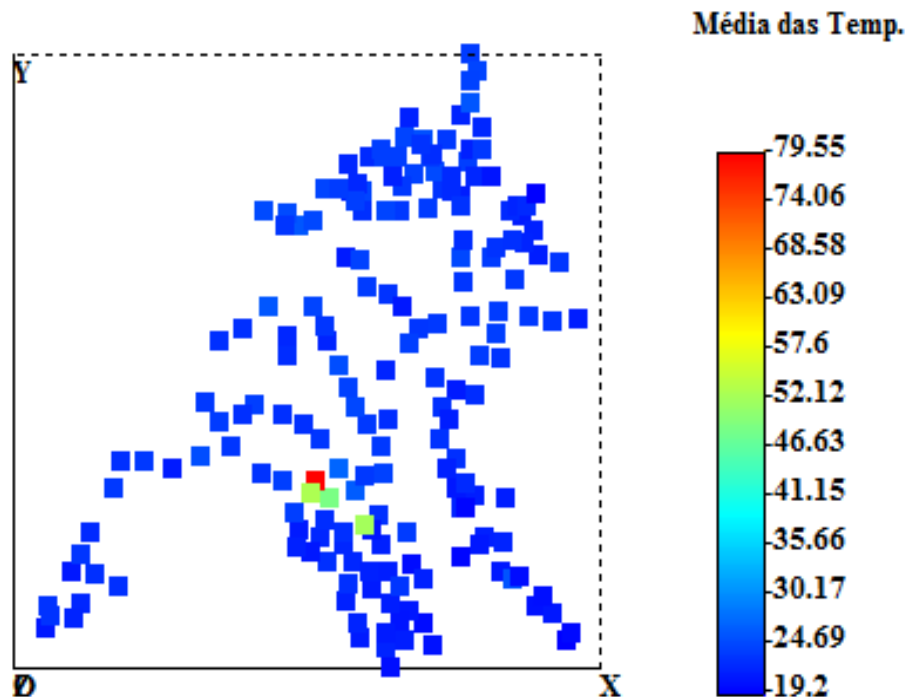


Figura 4.21 – Distribuição da variável média das temperaturas ao longo de toda a área de estudo delimitadas pelas seguintes coordenadas: mínimas (M=627858 m; P=4183058 m) e máximas: (M=634149 m; P=4189865 m).

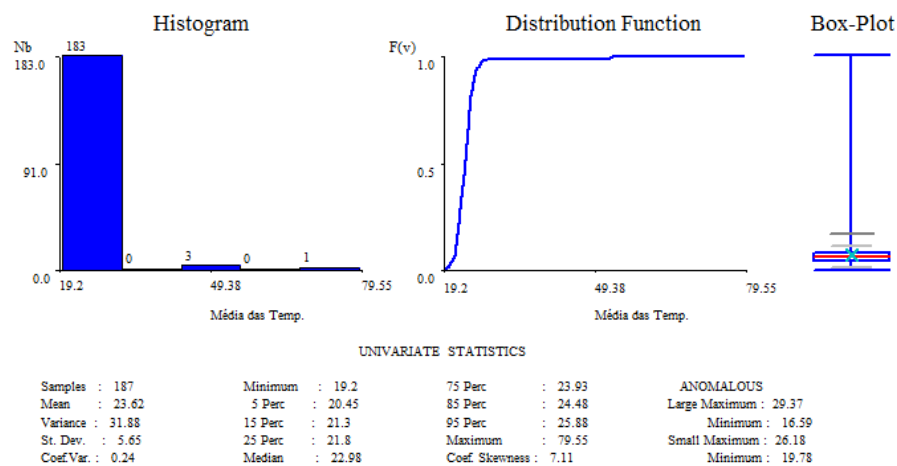


Figura 4.22 – Estatísticos da variável média das temperaturas.

Nos valores estatísticos estão representadas 187 amostras, uma vez que 13 dos 200 furos foram perdidos sendo que os seus valores são cotados como zero ou nulos, não fazendo parte dos valores estatísticos desta variável.

A partir da análise univariada verifica-se que o valor mínimo corresponde a uma temperatura de 19,20°C e o máximo de 79,55°C. A média é de 23,62°C e a mediana (valor a que corresponde a percentagem cumulativa de 50%) de 22,98°C. O coeficiente de simetria é de 7,11, um valor positivo que indica que os valores extremos estão à direita da média. Por último a variância das temperaturas médias é de 31,88.

#### 4.3.3.2. Variograma

O variograma calculado apresenta-se representado na Figura 4.23. O variograma foi ajustado ao modelo esférico, sem direcção preferencial (variograma omnidireccional), admitindo assim que a variável é isotrópica. A amplitude do variograma é de 670 m, o que significa que as amostras podem ser correlacionadas num raio máximo de igual distância, com um patamar de 1, e sem efeito de pepita.

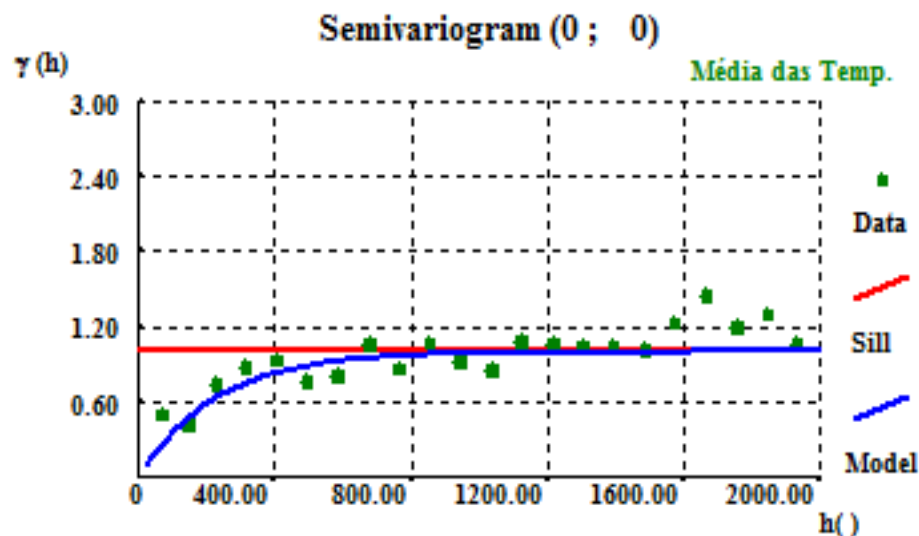


Figura 4.23 – Variograma omnidireccional da variável Temperatura média.

#### 4.3.3.3. Estimação por Krigagem

Esta estimação foi calculada através do *software geoMS* e transferida para o *ArcGis* 9.3.1 para cruzamento de dados e para uma avaliação mais pormenorizada. A Figura 4.24 representa o mapa da krigagem para a área em estudo respectiva envolvente.

#### 4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo

A krigagem da área de estudo apresenta uma área um pouco homogênea, estando a maior parte das temperaturas do solo entre [22,50 – 24,99] °C. Sendo que o pico mais elevado desta krigagem situa-se na zona do furo P141, o furo com as temperaturas mais elevadas em todas as medições executadas.

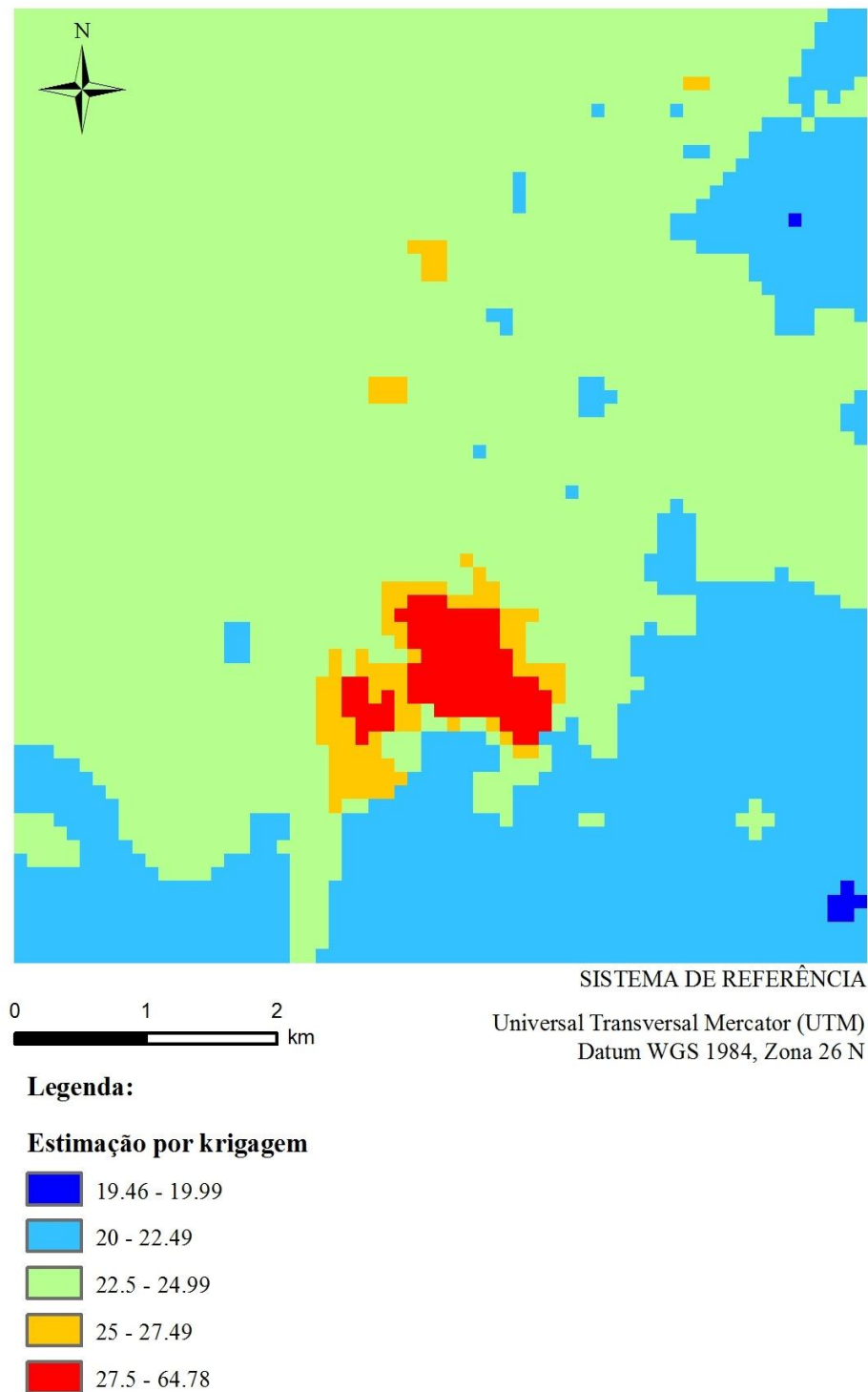


Figura 4.24 - Classificação do campo geotérmico da área sem os pontos das medições das temperaturas.

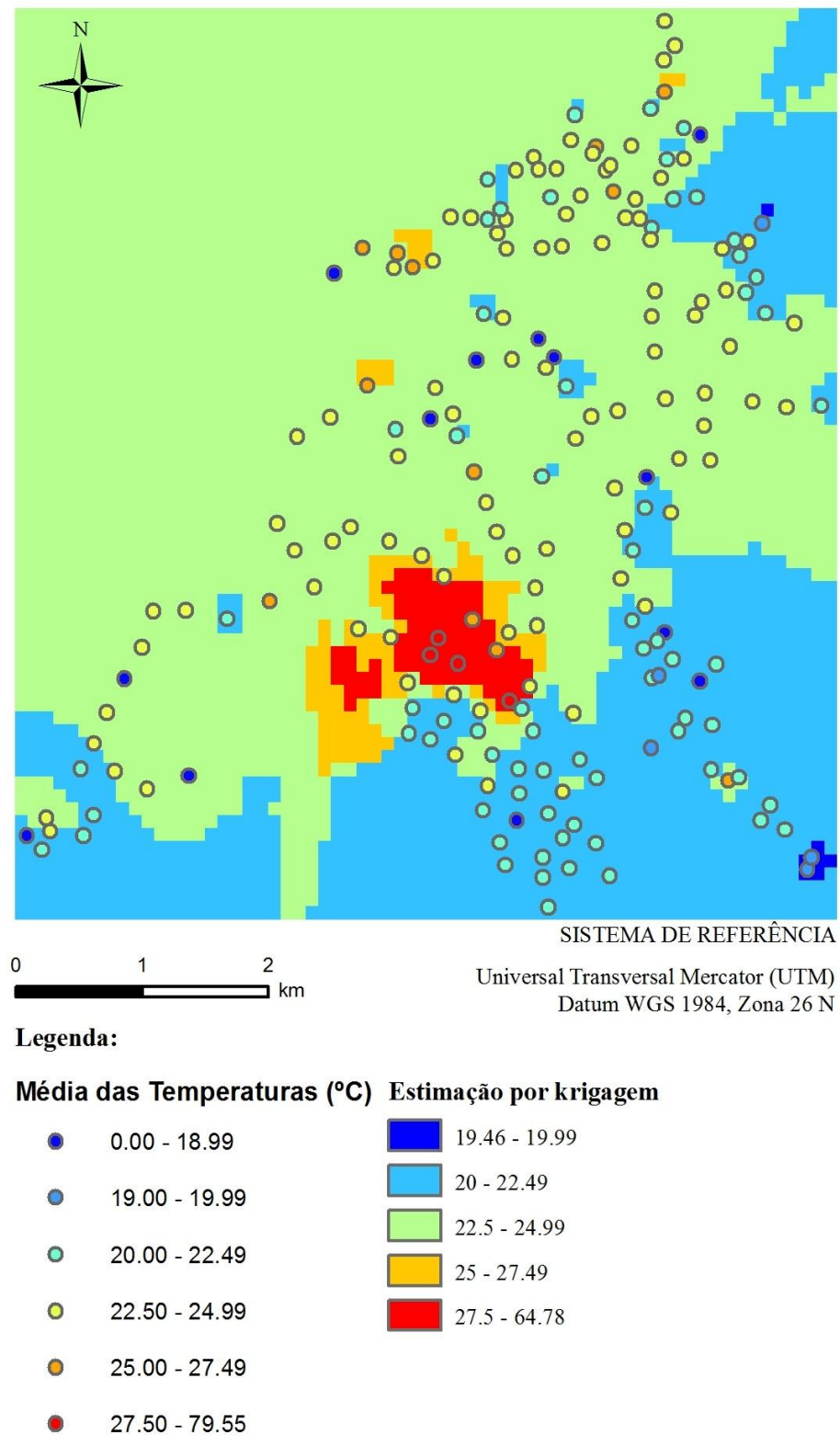


Figura 4.25 - Classificação do campo geotérmico da área com os pontos das medições das temperaturas.

Na figura seguinte (Figura 4.26), apresentam-se as isolinhas criadas neste mapa de krigagem através do *software ArcGis 9.3.1*. As mesmas estão compreendidas entre 20°C e os 64°C espaçadas de 1°C.

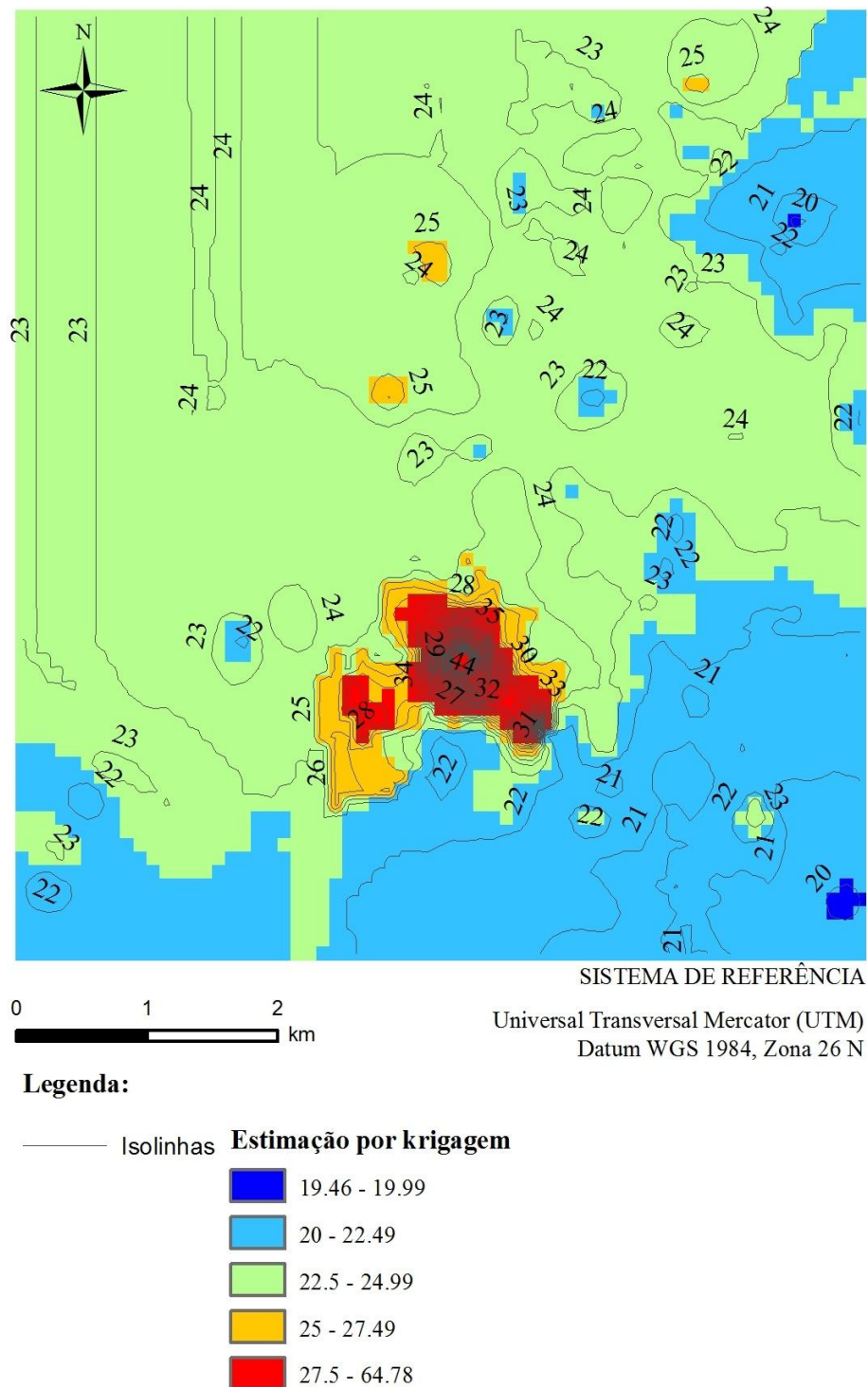


Figura 4.26 - Isolinhas do campo geotérmico da área em estudo.

A Figura 4.27 representa o campo geotérmico com o condicionante das falhas, é de notar que a fronteira entre  $[20,00 - 22,49]^\circ\text{C}$  e  $[22,50 - 24,49]^\circ\text{C}$  tem a mesma direcção das falhas. A zona anómala de dimensão mais pequena é condicionada pela fracturação existente no local.



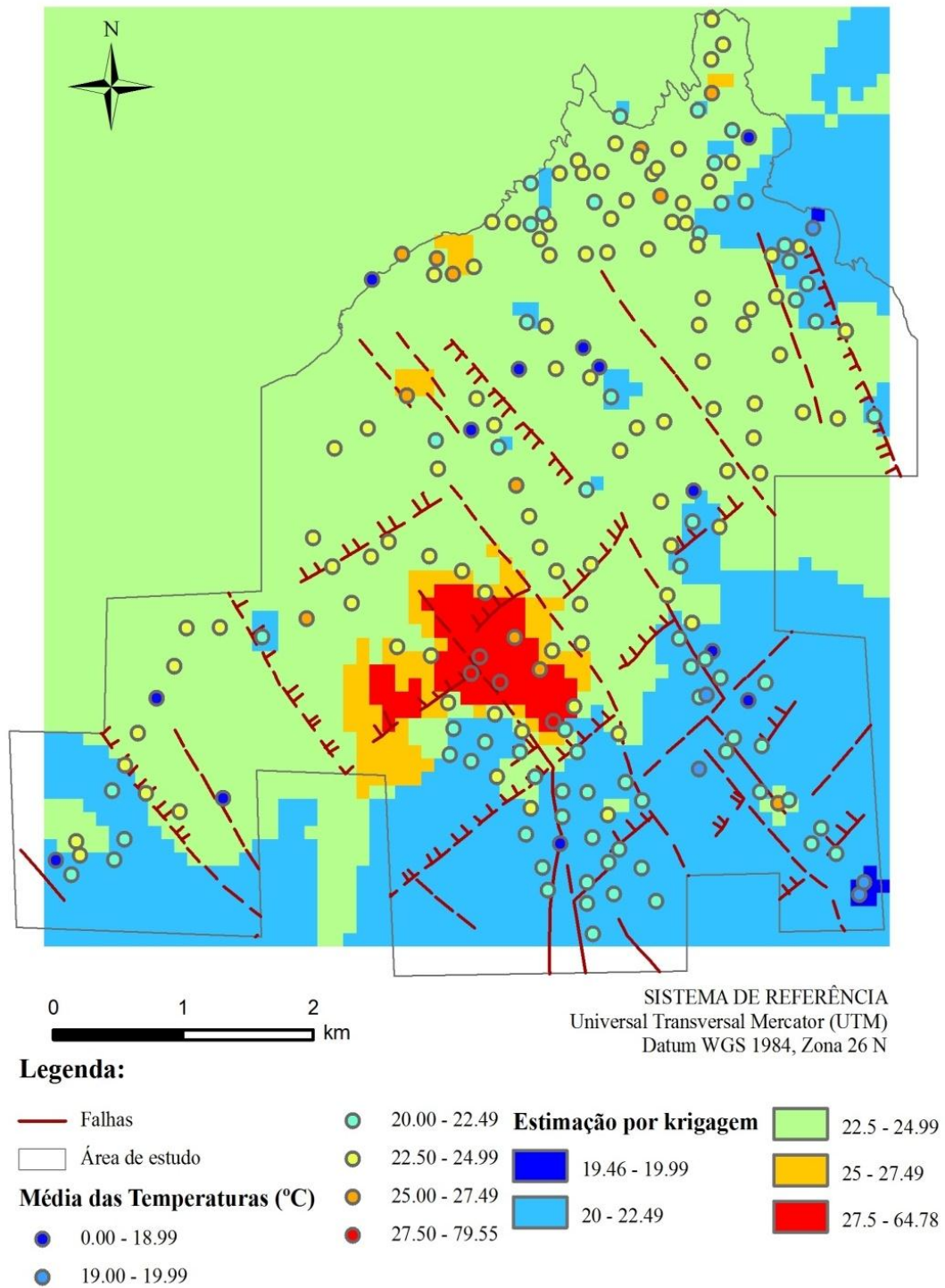


Figura 4.27 – Cruzamento entre falhas e o campo geotérmico da área em estudo.

### 4.3.4. Discussão dos Resultados

Neste subcapítulo serão estudadas algumas condicionantes para que a temperatura seja mais elevada, mais baixa, influenciada ou não. Serão comparados dados fornecidos pelo Instituto de Meteorologia, sobre as temperaturas do solo, com o propósito de se averiguar se a temperatura ambiente influencia as temperaturas obtidas nos furos. As temperaturas serão relacionadas com as litologias do terreno e com a localização de falhas ou de manifestações de calor conhecidas.

#### 4.3.4.1. Influência da Temperatura Ambiente e Precipitação

##### 4.3.4.1.1. Dados do Instituto de Meteorologia

Foram solicitados ao Instituto de Meteorologia (IM) os dados sobre as temperaturas ambientes e do solo de uma estação localizada no concelho da Ribeira Grande, nos meses de Julho, Agosto e Setembro de 2010. No entanto, apenas foi possível o acesso à informação da estação de Ponta Delgada (ID 512), por não existir nenhuma estação meteorológica na Ribeira Grande. O Instituto Meteorológico vendeu as informações sobre a temperatura ambiente, temperatura do solo a 0,05 m, 0,20 m e 1 m e também o total da quantidade da precipitação (mm).

Embora o local de investigação (Ribeira Grande) e o local de registos obtidos do IM (Ponta Delgada) sejam distintos, entre outros aspectos, sob os pontos de vista geográfico e geológico, as condições atmosféricas não variam significativamente entre os dois concelhos tendo em atenção a distância entre os locais (cerca de 18 km). Assim, estes servem para avaliação qualitativa das variações observadas, nomeadamente as tendências.

Durante o período em que se realizou o trabalho de campo, pela análise do gráfico da Figura 4.28 que a precipitação na estação de Ponta Delgada não foi muito significativa durante o tempo do trabalho de campo, exceptuando o pico de 31,2 mm, que se fez sentir no dia 25 de Agosto de 2010. No entanto, pela avaliação da temperatura no solo a 0,20 e 1 m de profundidade (estação de Ponta Delgada), este pico não influenciou significativamente a temperatura do solo na estação de Ponta Delgada.

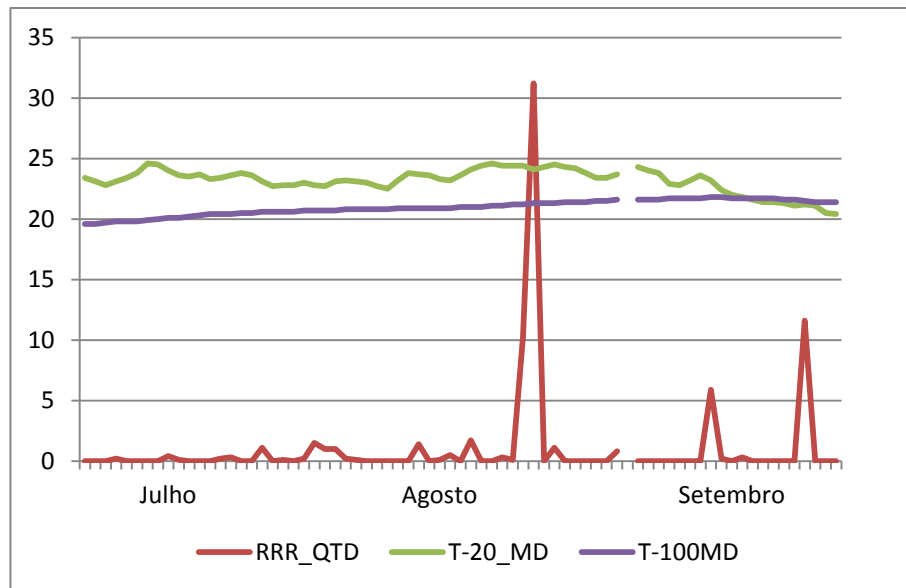


Figura 4.28 - Comparação entre a precipitação (mm) e as temperaturas do solo a 0,2 e 1 m. RRR\_QTD: Total da Quantidade de precipitação (mm); T-20\_MD: Temperatura média a 0,20 m de profundidade; T-100MD: Temperatura média a 1 m de profundidade. A interrupção das séries de dados deve-se à ausência de registos na estação de Ponta Delgada.

Da análise do gráfico da Figura 4.29 verifica-se que a temperatura do solo a 0,2 m é menos estável do que a temperatura do solo a 1 m. Tal deve-se ao facto da temperatura no solo, para zonas superficiais, ser influenciada pela temperatura atmosférica. Essa influência diminui com a profundidade. Tal evidência está expressa na Figura 4.28. Acredita-se que abaixo dos 6 a 8 metros de profundidade essa influência deixa de se fazer sentir.

As temperaturas do solo estão representadas em três profundidades. A primeira situa-se a 0,05 m da superfície da Terra (T-05\_MD), a segunda foi registada a uma profundidade de 0,2 m (T-20\_MD) e por último temos uma temperatura do solo a uma profundidade de 1 m (T-100MD). No gráfico da Figura 4.29 pode-se visualizar também os valores da temperatura ambiente (TMED) registados na estação de Ponta Delgada durante os meses do trabalho de campo.

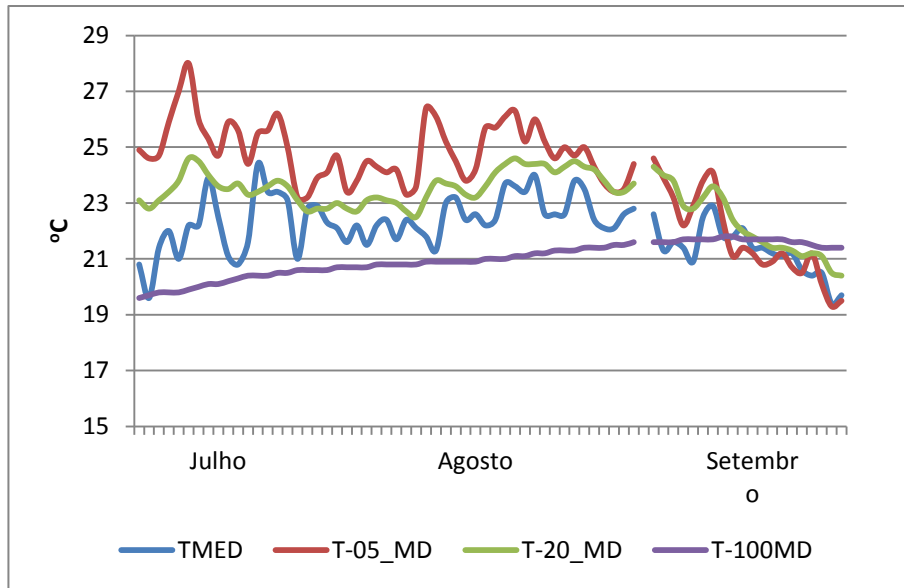


Figura 4.29 - Comparação entre a temperatura ambiente e as diferentes temperaturas do solo (TMED – Temperatura ambiente; T-05\_MD – Temperatura a 0,05 m da superfície do solo; T-20\_MD – Temperatura a 0,2 m da superfície do solo; T-100MD – Temperatura a 1 m da superfície do solo).

Para verificação da influência da temperatura ambiente na temperatura do solo, foram elaborados os seguintes gráficos, que relacionam a correlação entre as temperaturas a várias profundidades do solo, e a temperatura ambiente. Nos gráficos considerou-se como variável independente a temperatura ambiente e como variável aleatória a temperatura do solo a várias profundidades.

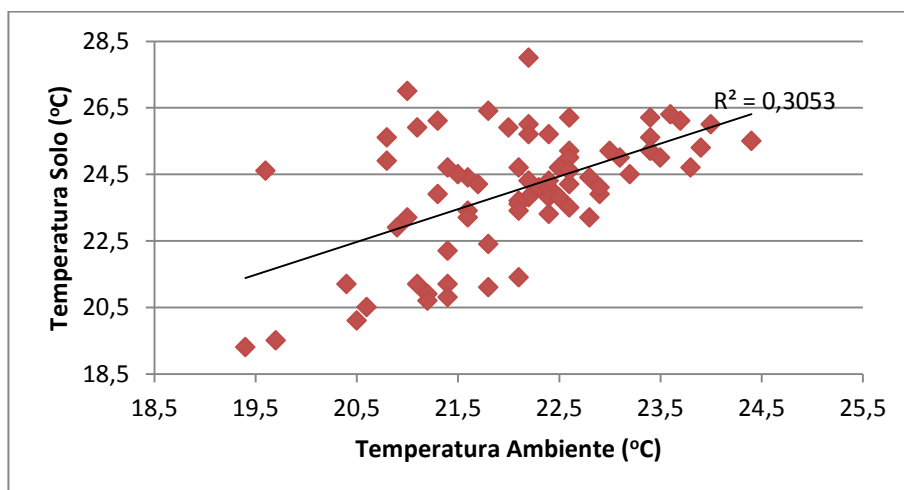


Figura 4.30 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 0,05 m.

O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da recta da regressão linear representada no gráfico anterior (Figura 4.30) é de 0,3053 o que indica que estatisticamente este não é um bom ajuste, significando que as duas variáveis não têm uma correlação directa.

No entanto, também se pode analisar este gráfico (Figura 4.30) de um outro modo, pode-se considerar que a temperatura do solo é influenciada, uma vez que  $R^2$  não é nulo, mas não é submissa à temperatura ambiente.

A comparação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 0,2 m está representada no gráfico da Figura 4.31. O coeficiente de determinação é maior do que o anterior, indicando ainda uma influência da temperatura ambiente.

No entanto, esta correlação não indica que para a temperatura a 0,20 m de profundidade a influência da temperatura ambiente seja maior do que à temperatura de 0,05 m, mas sim que as temperaturas do solo diminuíram, ficando assim mais próximas da temperatura ambiente, como se pode visualizar através do gráfico da Figura 4.29.

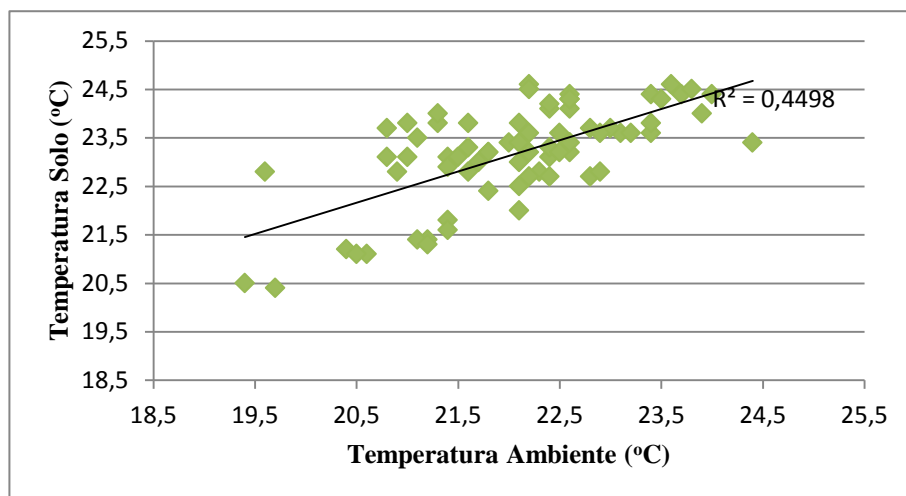


Figura 4.31 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 0,2 m.

Por último, na Figura 4.32, está representada a comparação entre a temperatura do solo a 1 m e a temperatura ambiente. Esta correlação é a mais expressiva das três, uma vez que o coeficiente de determinação é praticamente nulo. Nesta correlação pode-se afirmar que a temperatura ambiente não tem influência sobre a temperatura do solo a esta profundidade.

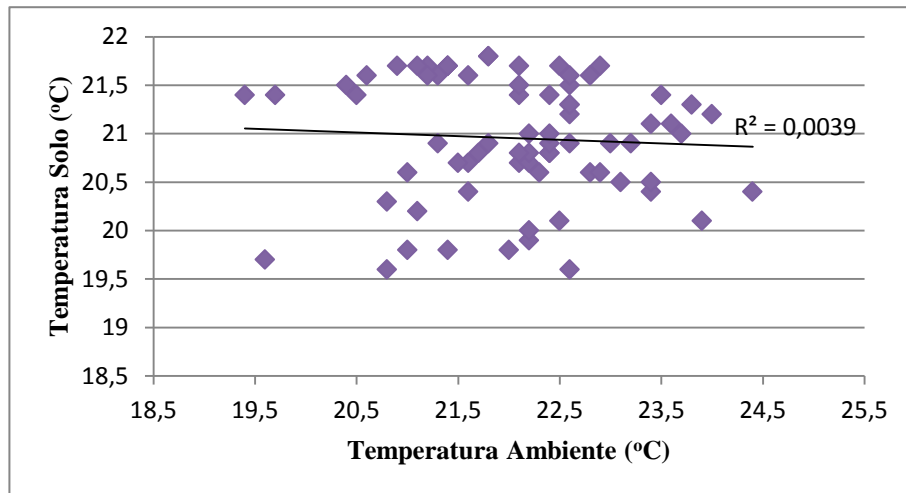


Figura 4.32 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a 1 m.

A profundidade dos registos de temperatura obtidos na área de estudo da Ribeira Grande foi obtida a 0,60 m. É expectável que a temperatura registada sofra influência da temperatura atmosférica ambiente, nomeadamente no longo tempo. Tal poderá, entre outros aspectos, expressar-se pelas ligeiras variações dos valores médios das temperaturas dos furos obtidos ao longo das quatro fases de leituras.

##### 4.3.4.1.2. Dados do Trabalho de Campo

Durante o trabalho de campo foram registadas diariamente a temperatura ambiente, assim como a temperatura a 0,60 m do solo, esta através do líquido condutor. Neste trabalho não foi possível quantificar a precipitação.

Como foi referido anteriormente, a temperatura do solo a 0,60 m deve ser influenciada pela temperatura atmosférica ambiente. Para que esta afirmação seja fidedigna serão apresentados os dados da medição realizadas aquando do trabalho de campo.

A Figura 4.33 representa a relação entre a temperatura ambiente e a temperatura a seco do solo dos 200 furos realizados. A temperatura ambiente foi medida mais do que uma vez por dia, para que esta informação fosse mais correcta possível.

O coeficiente de relação destas duas variáveis é praticamente nulo, determinando a temperatura ambiente não terá influência significativa sobre a temperatura do solo a 0,60 m.

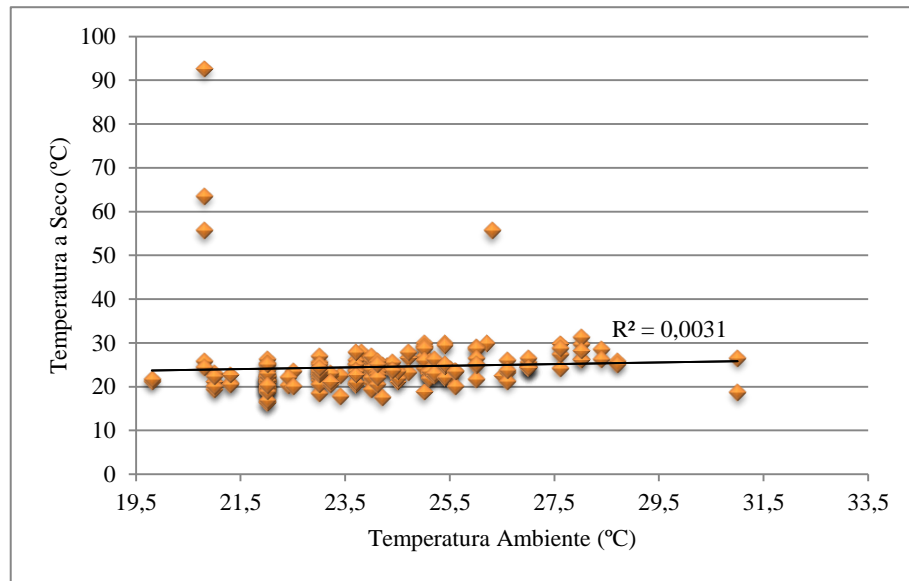


Figura 4.33 - Relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo a seco, a 0,60 m.

A relação entre a temperatura ambiente e a primeira medição do solo após uma semana da execução do furo está representada na Figura 4.34. Nesta representação é possível verificar que o coeficiente de relação é de  $R^2 = 0,0555$ , este número indica que a relação entre estas duas variáveis é praticamente nula, ou seja, a temperatura ambiente não condiciona a temperatura do solo.

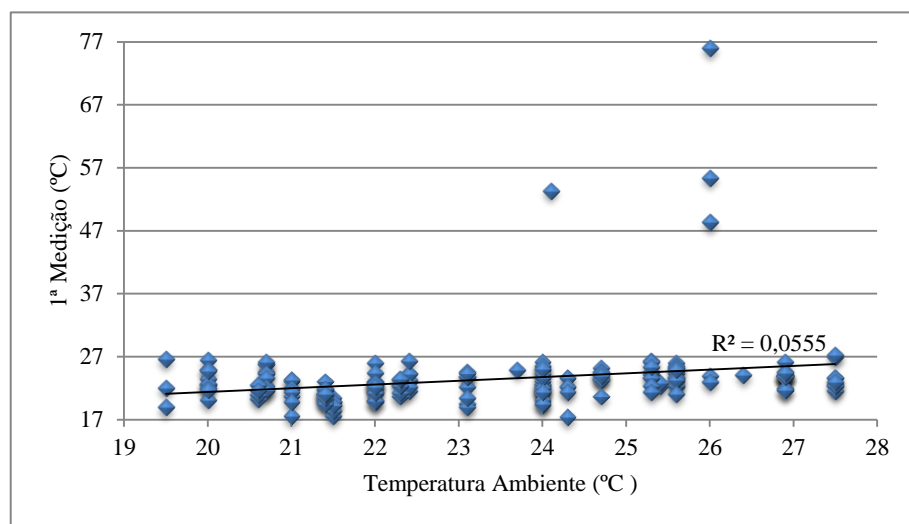


Figura 4.34 - Relação entre a temperatura ambiente e a 1ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.

O coeficiente de relação, da Figura 4.35 que caracteriza a relação entre a temperatura ambiente e a 2ª medição da temperatura do solo a 0,60 m é de  $R^2 = 0,0032$ , mais baixo do que o



coeficiente da relação da Figura 4.34, enfatizando que a temperatura ambiente não terá influência na temperatura do solo a 0,60 m.

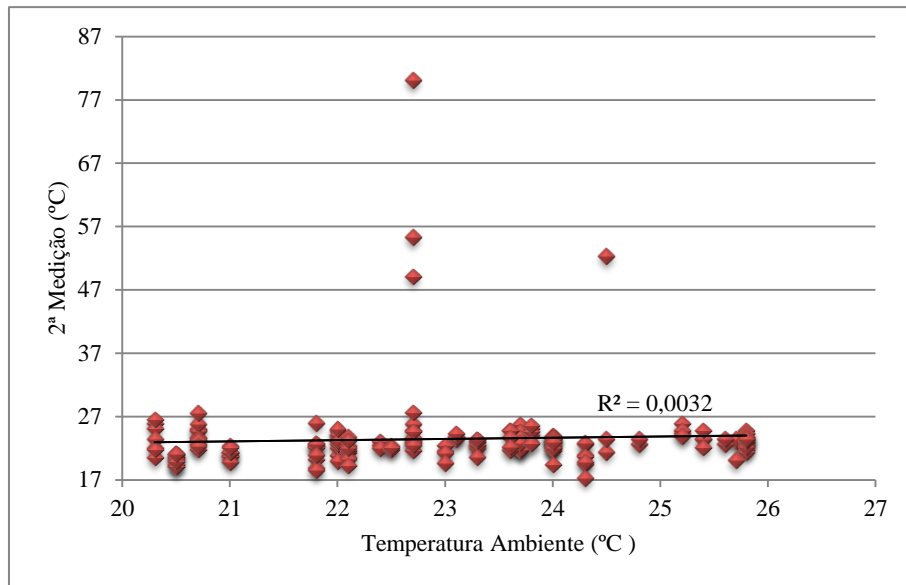


Figura 4.35 - Relação entre a temperatura ambiente e a 2ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.

Ao contrário do que acontece na relação anterior, o coeficiente de relação aumenta para um valor de  $R^2 = 0,0474$  (Figura 4.36), este valor continua a ser muito próximo de zero, tornando quase nula a relação entre estas duas variáveis. As variáveis em questão são a temperatura ambiente e a terceira medição do solo a 0,60 m.

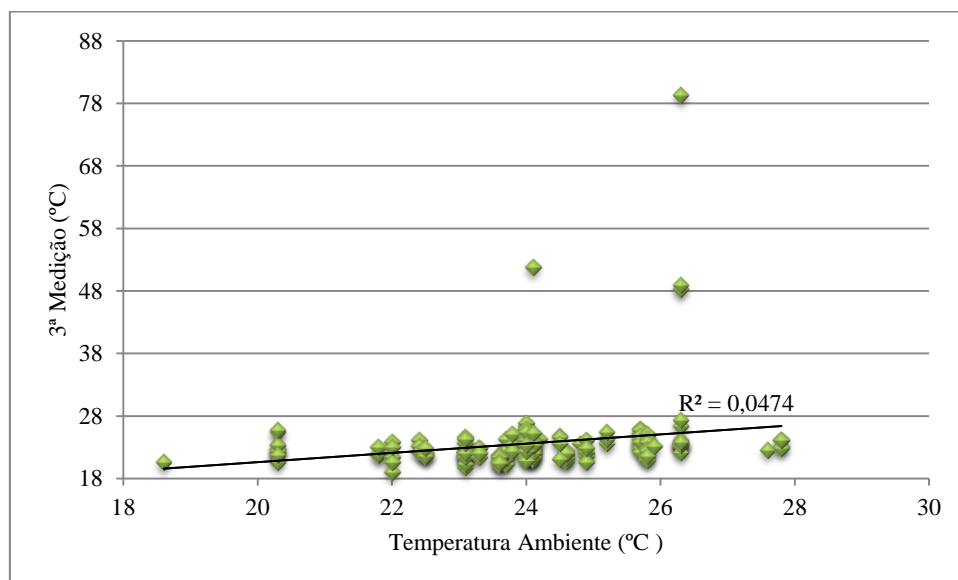


Figura 4.36 - Relação entre a temperatura ambiente e a 3ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.

Por último, a relação entre a variável temperatura ambiente e a variável correspondente à 4ª medição da temperatura do solo a 0,60 m (Figura 4.37). O coeficiente de relação destas duas variáveis é mais baixo do que o anterior,  $R^2 = 0,007$ , estando mais próximo do zero, aproximando a influência da temperatura ambiente no solo a nulo, não existindo relação entre as duas variáveis.

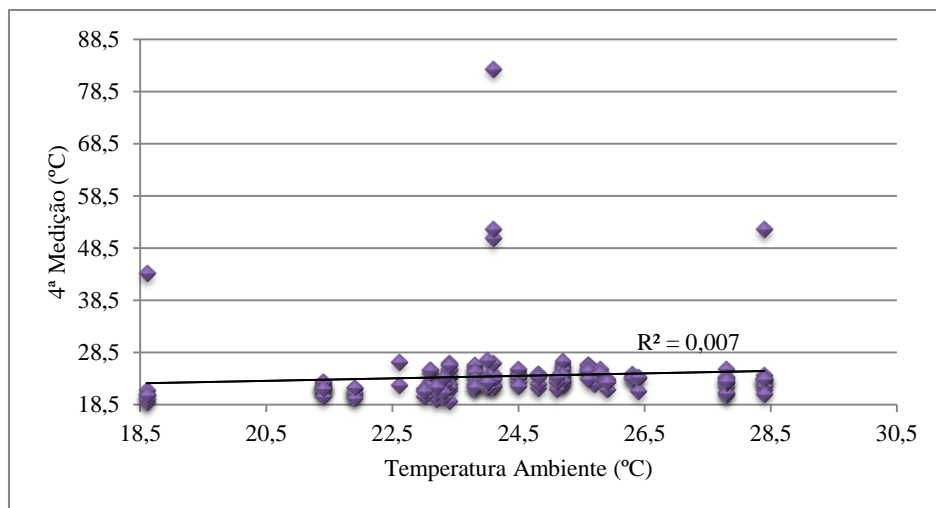


Figura 4.37 - Relação entre a temperatura ambiente e a 4ª medição da temperatura do solo a 0,60 m.

O coeficiente de relação de todas as variáveis propostas está muito próximo do zero, no entanto este coeficiente não é zero, nem constante, o que poderá indicar que a temperatura ambiente tem influência na temperatura do solo, apesar de esta influência ser praticamente ínfima.

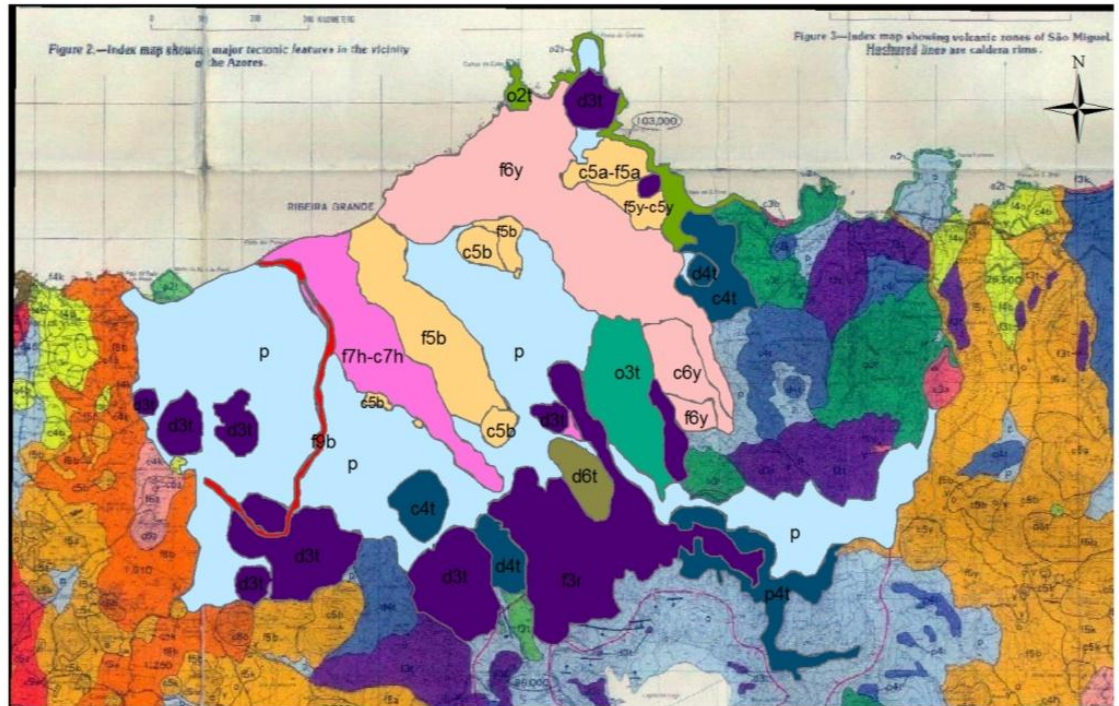
#### 4.3.4.2. Influência da Geologia

A introdução de uma condicionante geológica tem como objectivo estudar um possível padrão de distribuição das temperaturas em zonas da área em estudo com a mesma litologia. A carta escolhida para esta comparação foi a carta geológica de S. Miguel de Moore (1991) representada na Figura 4.38.

Nesta carta as unidades geológicas descritas estão estruturadas da seguinte forma, o primeiro carácter indica o tipo de depósito: c – cone (incluindo os anéis das pedra-pomes), d – doma, p - depósitos piroclásticos, o – depósitos de caldeira, f – escoada lávica, k – dique. O segundo símbolo corresponde ao intervalo de idades dos materiais se encontram. Começando pelo mais recente vem: 9 – menos de 750 anos, 8 – entre 750 e 1500 anos, 7 – entre 1500 e 3000 anos, 6 – entre 3000 e 5000 anos, 5 – entre 5000 e 10000 anos, 4 – entre 10000 e 30000 anos, 3 – entre 30000 e 100000, 2 – entre 100000 e 200000 e 1 – mais de 200000 anos.

#### 4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo

O último carácter simboliza o tipo de rocha: a – ankaramítico, b – basanitóide, k – basalto alcalino com olivinas, h – havaíto, m – mugearitos, y – rochas híbridas, r – tristanito, t – traquito.



SISTEMA DE REFERÊNCIA

Universal Transversal Mercator (UTM)  
Datum WGS 1984, Zona 26 N

#### Legenda:

Carta Geológica de S. Miguel de Moore (1991)

c4t	d4t	f5y-c5y	o3t
c5a-f5a	d6t	f6y	p
c5b	f3	f7h-c7h	p4t
c6y	f3r	f9b	
d3t	f5b	o2t	

Figura 4.38 - Carta geológica da área em estudo (adaptado de Moore, 1991).

O procedimento de comparação baseou-se em cruzar o mapa geológico de Moore (1991) com as temperaturas médias medidas em todos os furos/pontos do trabalho de campo, através da ferramenta informática *ArcGis 9.3.1*. Foi estabelecida uma análise qualitativa.

A Figura 4.39 representa a unidade mais recente da área em estudo estabelecida por Moore (1991). Não é possível traçar um padrão, uma vez que a sua área é pequena e contém

apenas dois furos, um dos furos foi danificado e o outro possui de uma temperatura média de 23,7°C.

A unidade f9b corresponde a escoadas lávicas do tipo pahoehoe resultante de uma erupção basáltica. Esta erupção teve origem no Pico Queimado, na freguesia de Santa Bárbara, situado a 5,5 km da Lagoa de Fogo. A erupção é datada de 1563 a.C. e soterrou toda a freguesia da Ribeira Seca. A rocha é composta essencialmente por 3-5% de fenocristais de olivina e numerosos xenólitos sieníticos.

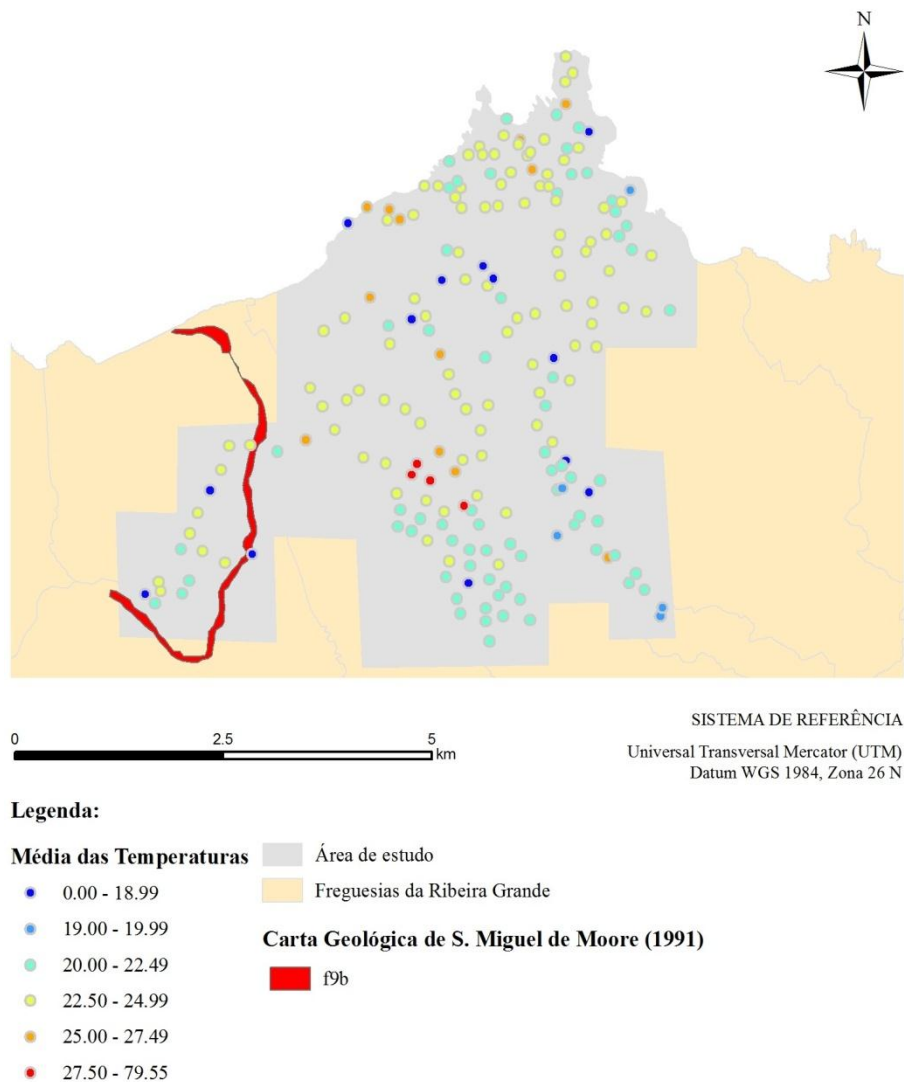


Figura 4.39 - Distribuição das unidades geológicas f9b segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.

A Figura 4.40 mostra a escoada havaítica, correspondente a uma idade compreendida entre 1500 e 3000 anos. Na área que engloba esta unidade geológica as temperaturas situam-se maioritariamente entre os 20°C e os 25°C. Não existindo mais nenhum local com estas

#### 4. Geotermia na Ribeira Grande – Caso de Estudo

características na área em estudo, não se pode criar um padrão de comparação para temperaturas do solo.

Nos depósitos piroclásticos tipo *spatter* (c7h) e nas escaodas lávicas tipos pahoehoe e aa, os havaítos são compostos por 2-4% de plagiocase e menos de 1% de fenocristais de piroxena. Estes depósitos estão intercalados com a unidade p da carta geológica (esta unidade será descrita mais à frente).

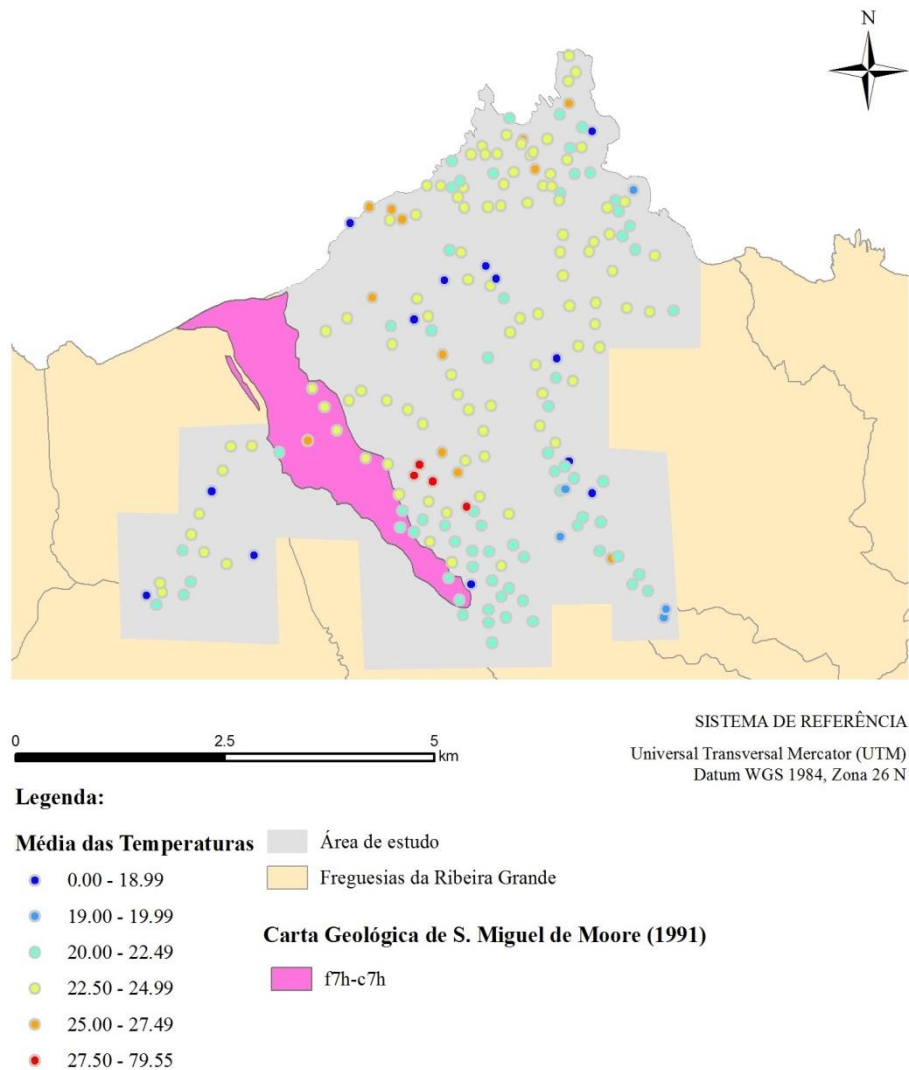


Figura 4.40 - Distribuição das unidades geológicas f7h-c7h segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.

A Figura 4.41 representa as unidades geológicas depositadas entre 3000 e 5000 anos. As temperaturas estão compreendidas maioritariamente entre [22,50 – 24,49] °C, havendo cinco furos nulos.

As unidades dos depósitos piroclásticos (c6y) e das escoadas lávicas dos tipos pahoehoe e aa, do basalto híbrido têm os seguintes composições: 4-8% de plagioclase e menos de 1% de fenocristais de olivina e piroxena. Estas unidades estão intercaladas com a unidade p.

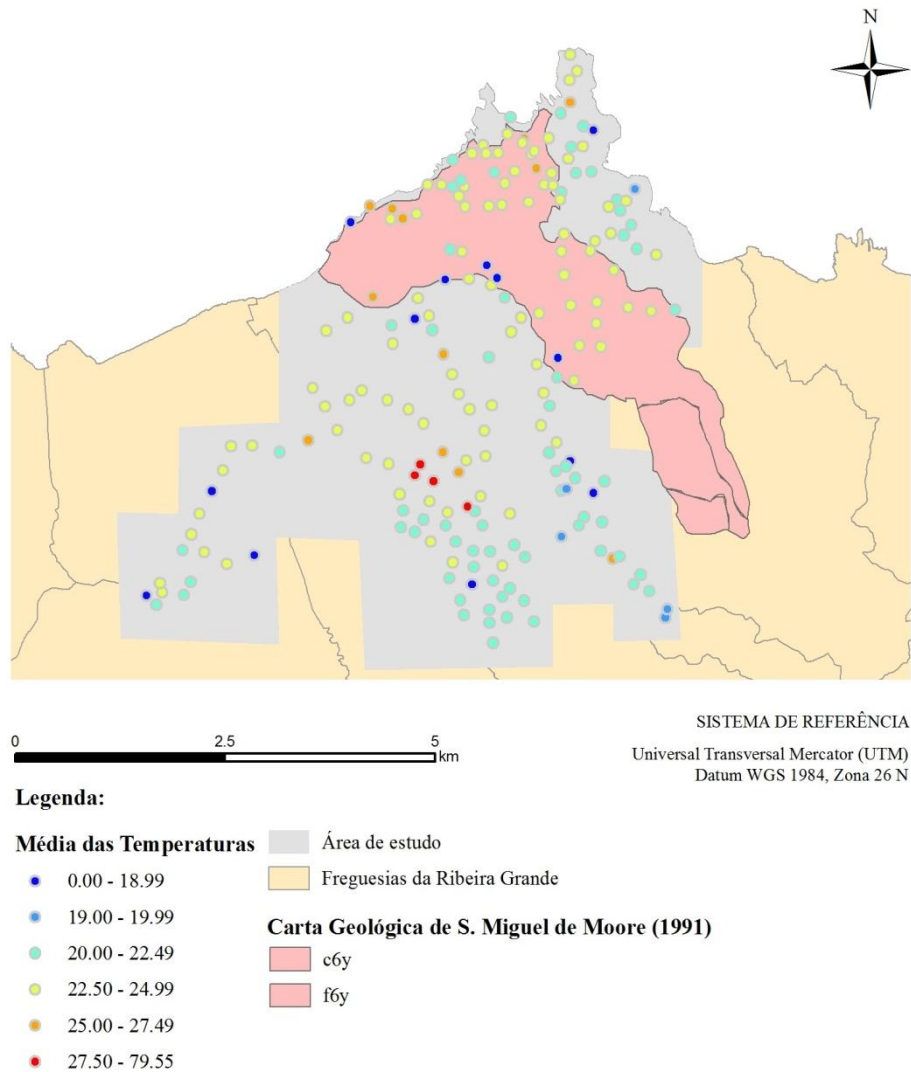


Figura 4.41 - Distribuição das unidades geológicas c6y-f6y segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.

O mapa da Figura 4.42 mostra as unidades c5y-f5y, c5a-f5a, c5b e f5b. Nestas unidades as temperaturas mais abundantes estão no intervalo de [22,50 – 24,99] °C, apesar desta maioria, as temperaturas assistidas nestas unidades são muito dispersas, havendo temperaturas de todas as classes acima de 20°C, existindo quatro furos com temperaturas muito elevadas [27,50 – 79,55] ° C, todos localizados na unidade f5b, correspondente a fluxos de lava pahoehoe e aa. Todas estas unidades estão datadas entre 5000 e 10000 anos.



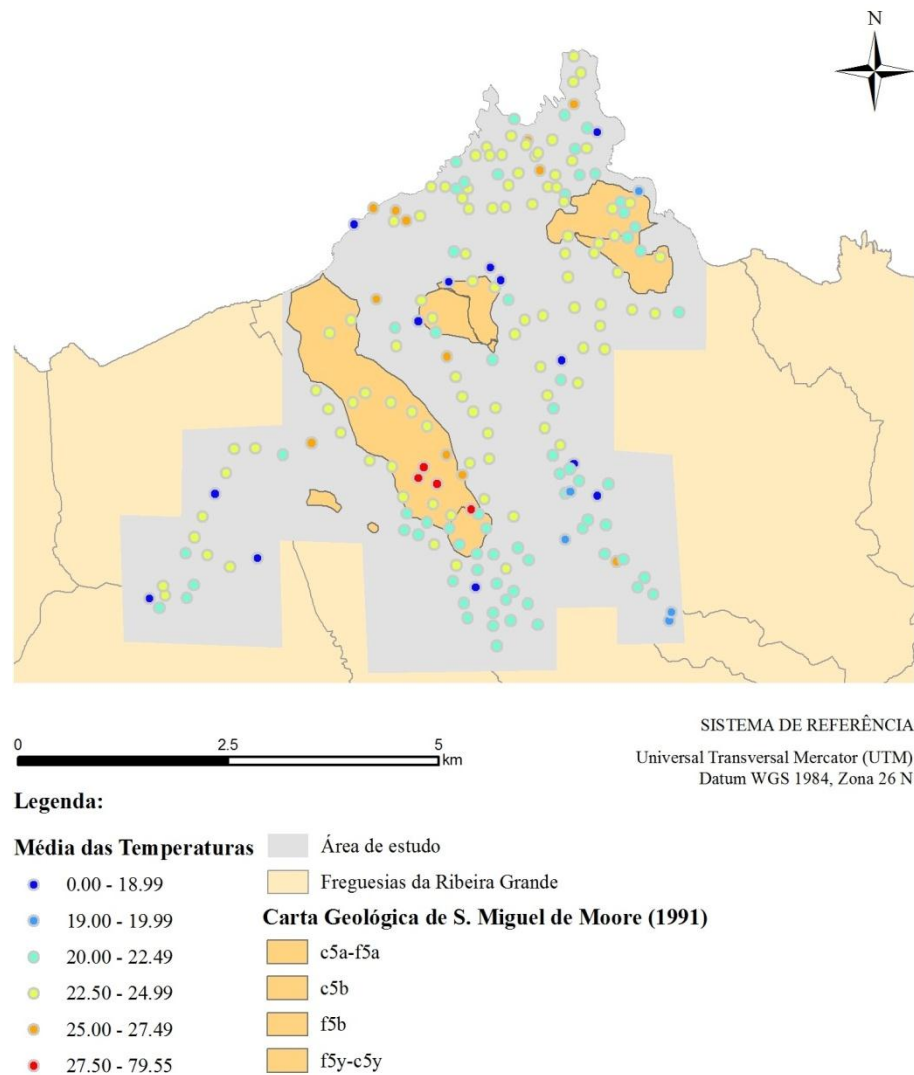


Figura 4.42 - Distribuição das unidades geológicas c5y-f5y; c5a-f5a; c5b; f5b segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.

As figuras seguintes correspondem a unidades geológicas com idades compreendidas entre os 30000 e os 100000 anos. Nas Figuras 4.43 e 4.44 estão representadas as unidades de f3r – Escoda lávica de Tristanito, e de d3t – Domas traquíticos, respectivamente. O tristanito é composto essencialmente por 10-15% de feldspato alcalino e 1-2% de fenocristais de piroxena, a composição mais comum dos traquitos é 5-12% feldspato alcalino e menos de 1% de fenocristais de biotite.

Nestas unidades, que ocupam uma pequena área, as temperaturas predominantes estão compreendidas entre os [20,00 – 22,49] °C, não revelando um padrão de distribuição.



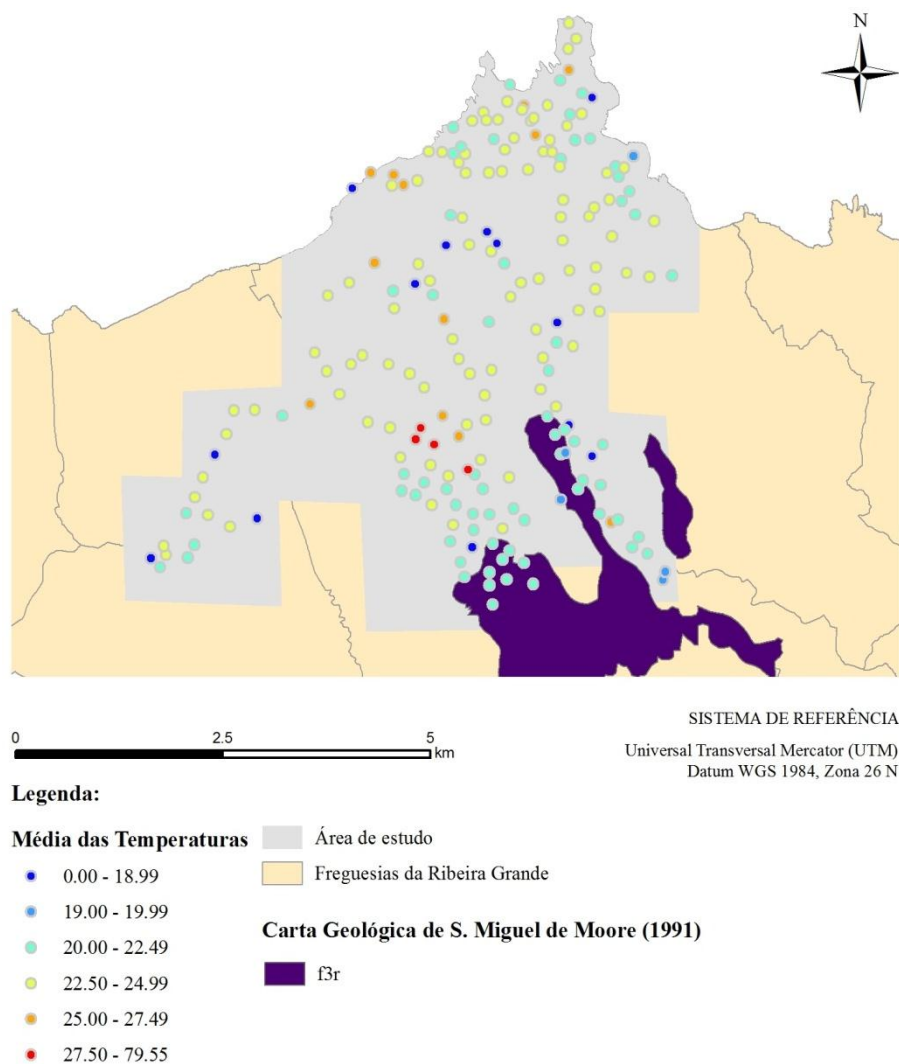


Figura 4.43 - Distribuição da unidade geológica f3r segundo Moore (1991) e temperaturas médias na área em estudo.

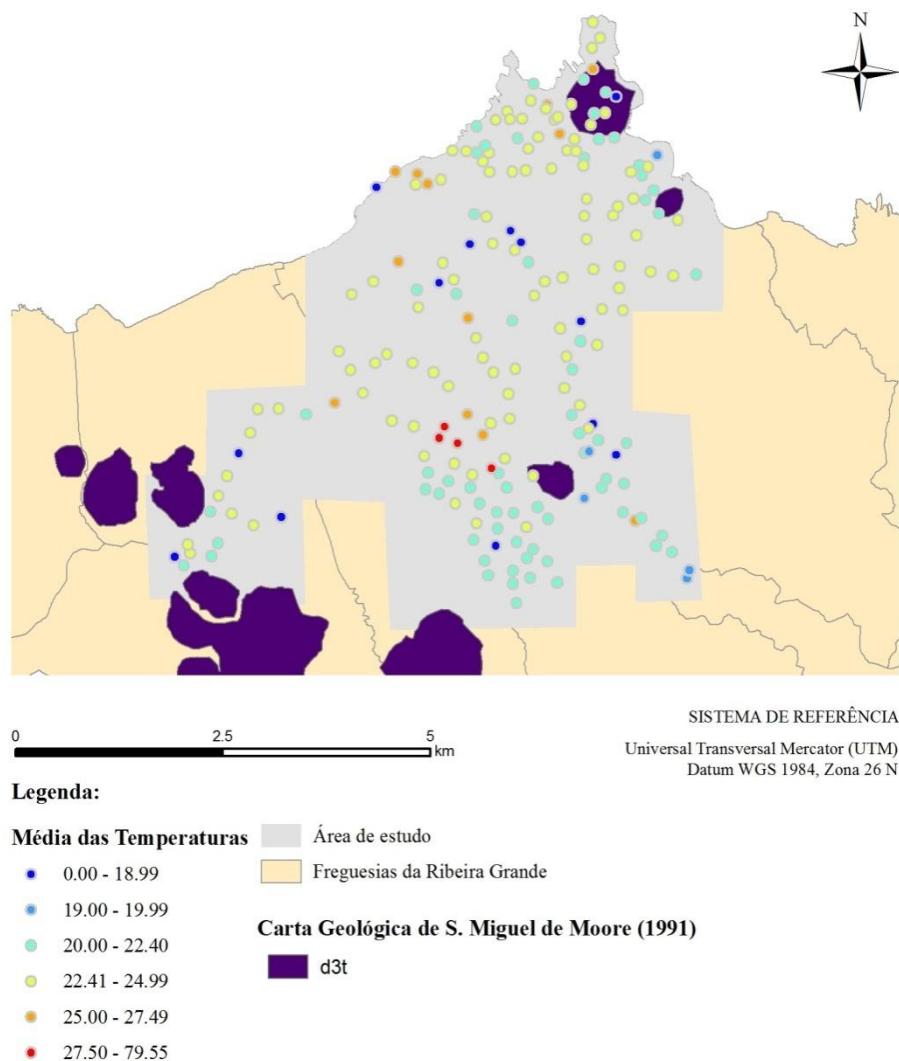


Figura 4.44 - Distribuição da unidade geológica d3t; área em estudo.

A unidade o3t representa depósitos de uma caldeira de escoamento. O traquito pedrapomes contém nas suas propriedades 4-8% de feldspatos alcalinos, 1-3% de plagioclase e menos de 1% de fenocristais de biotite.

O padrão de temperaturas na unidade o3t (Figura 4.45) está compreendido entre [20.00 - 22.49] °C e contém poucos furos pelo que não se podem estabelecer correlações fidedignas.

A Figura 4.46, unidade litológica f3 corresponde a uma escoada vulcânica de 30000 a 100000 anos de existência. Nesta unidade só está representado um ponto, com temperaturas entre [19,00 – 19,99] °C. Como só existe uma amostra é impossível identificar-se um padrão de temperaturas.

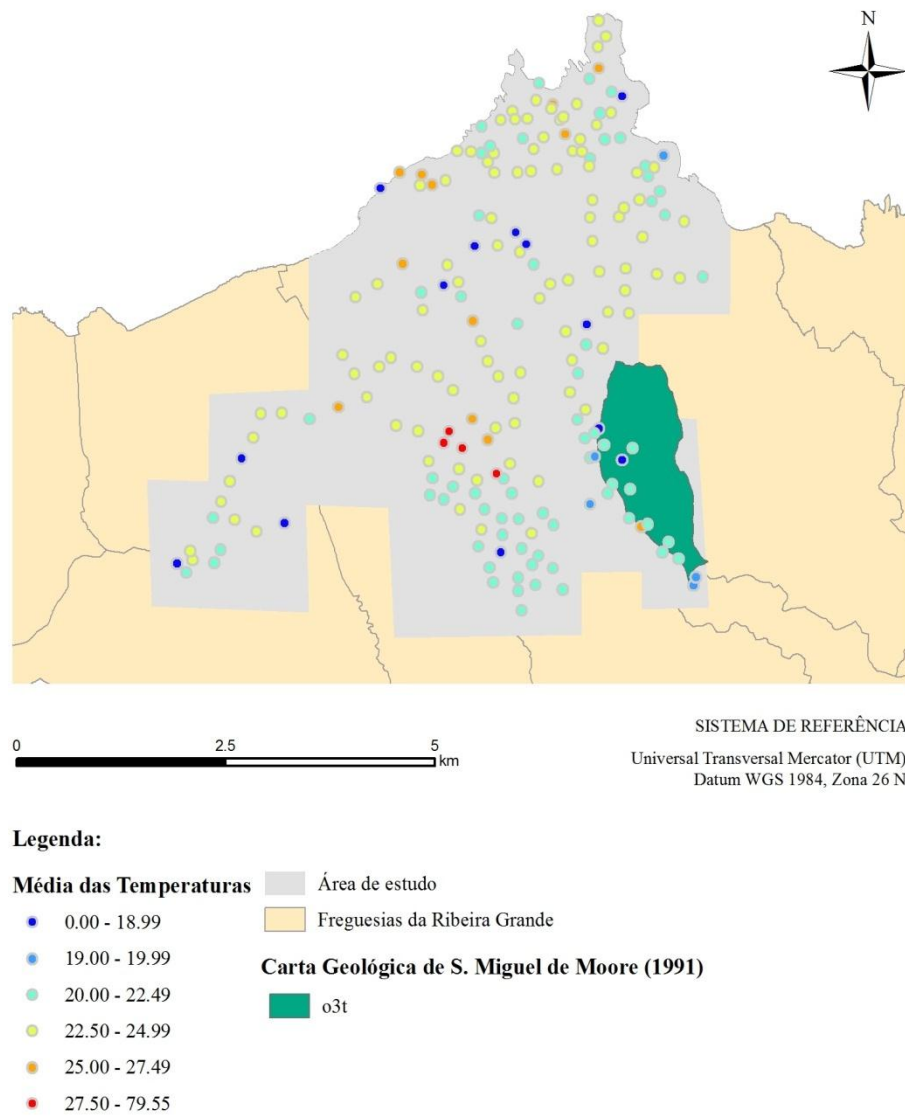


Figura 4.45 - Distribuição da unidade geológica o3t; área em estudo.

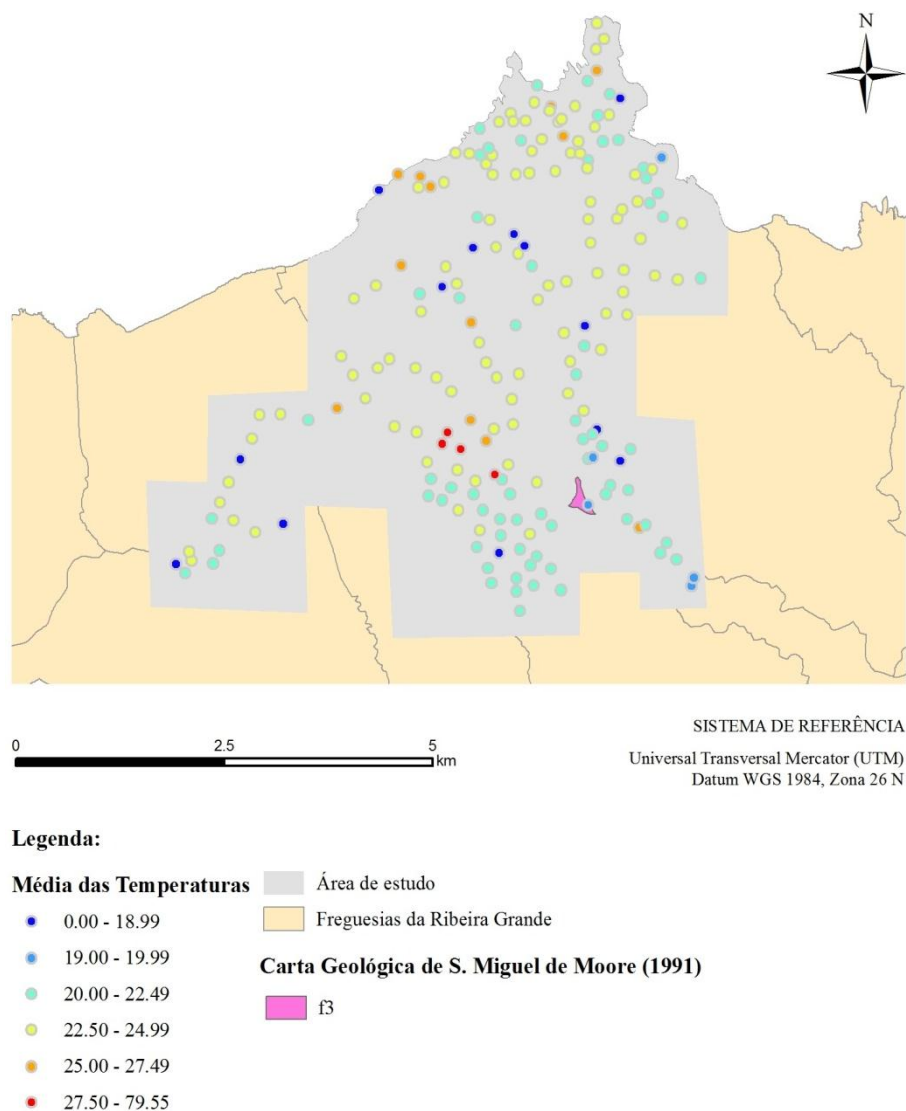


Figura 4.46 - Distribuição da unidade geológica f3; área em estudo.

A unidade o2t (Figura 4.47) é representativa dos anos 100000 a 200000, e tem a classificação de tufos ricos em obsidiana e associado a depósitos piroclásticos de fluxo. Os traquitos pomíticos representantes desta unidade têm os seguintes componentes: 3-10% de feldspatos alcalinos, e menos de 1% de fenocristais de biotite.

Como se pode verificar através do mapa Figura 4.47, esta unidade situa-se na costa norte da ilha ao longo das freguesias da Ribeirinha até Porto Formoso e praticamente não contém pontos de observação.

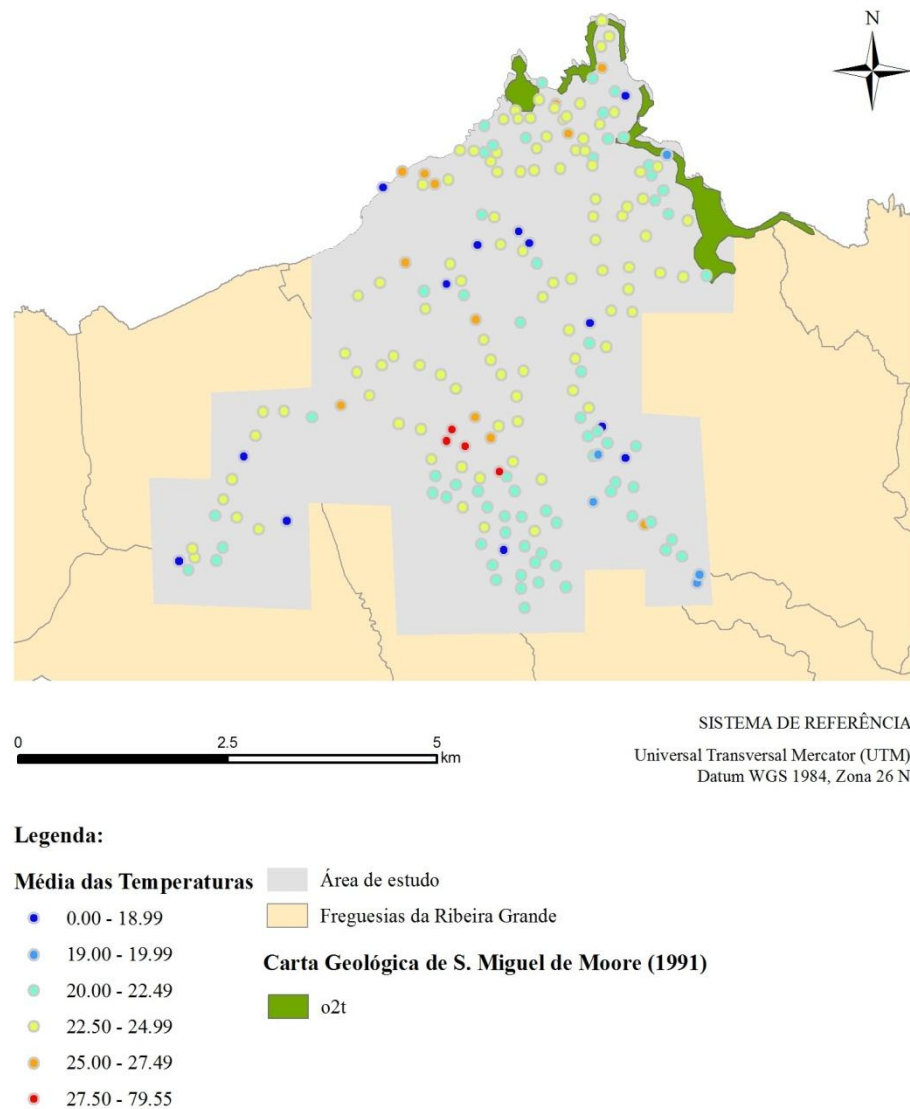


Figura 4.47 - Distribuição da unidade geológica o2t; área em estudo.

Na Figura 4.48 pode-se visualizar a unidade p, que corresponde a depósitos piroclásticos de pomitos traquíticos. Quanto às temperaturas da unidade p, predominam as temperaturas entre os [20,00 – 22,49] °C e [22,50 – 24,99] °C.

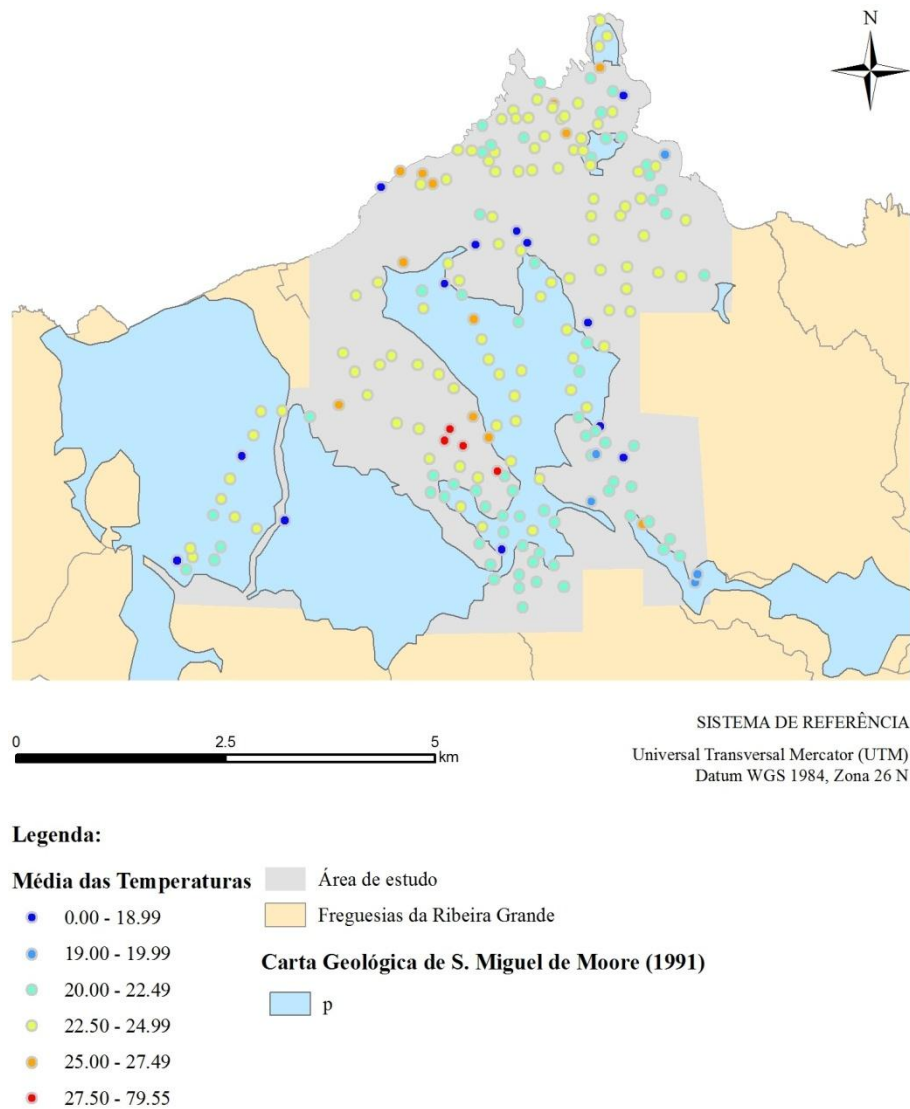


Figura 4.48 - Distribuição da unidade geológica p; área em estudo.

Pode concluir-se que os afloramentos rochosos não afectam directamente as temperaturas medidas neste trabalho de campo, uma vez que a profundidade dos furos realizados não foram profundos o suficiente para chegar à rocha mãe desta unidade e porque as temperaturas médias de todas as unidades geológicas foram muito semelhantes, não se podendo fazer uma correlação entre as litologias e de temperaturas registadas em campo.

De qualquer maneira a unidade geológica onde as temperaturas registadas foram mais elevadas corresponde à unidade f5b.

#### 4.3.4.3. Influência da Geologia Estrutural

Segundo Forjaz (1994), no vulcão do Fogo existem falhas do tipo regional, que se desenvolvem apenas na região dos Açores, e falhas do tipo local, desenvolvendo-se apenas em cada ilha e/ou áreas vizinhas.

O *graben* da Ribeira Grande está associado a falhas NW-SE do tipo regional. Esta direcção de falhas é predominante no vulcão do Fogo, existindo alguns acidentes sismogénicos e outros que parecem ostentar apenas movimentos do tipo “*creep*”. Quanto às falhas locais, têm direcção de NW-SE a NNW-SSE. Estas falhas são fortemente sismogénicas e estão frequentemente associados às principais crises sísmicas do interior da ilha. Estas falhas locais condicionam o regime de percolação dos principais reservatórios geotérmicos.

Pela visualização da Figura 4.49 verifica-se para a zona do Pico Vermelho, local onde se registaram temperaturas compreendidas entre [27,50 – 79,55] °C, estão assinaladas falhas.

A freguesia da Ribeirinha não é condicionada pelas falhas no entanto as suas temperaturas são consideradas geotermicamente activas.

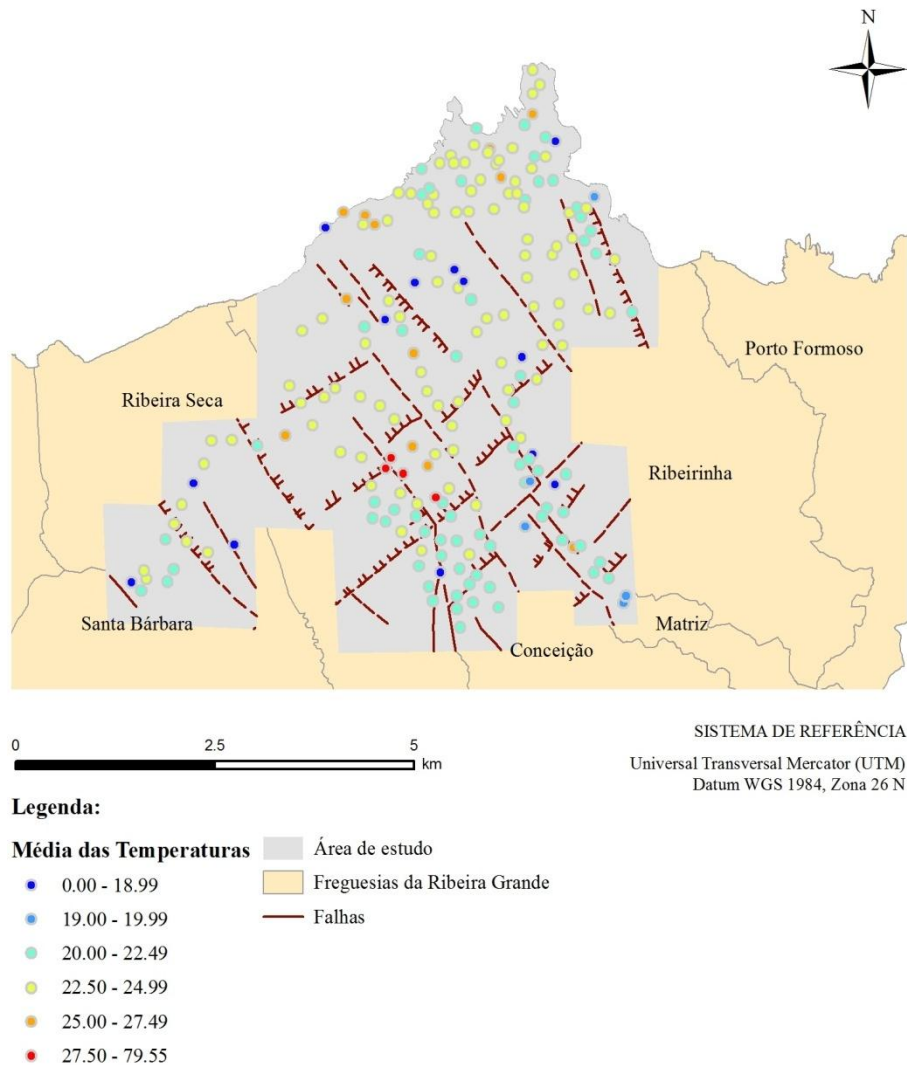


Figura 4.49 – Mapa da localização das falhas da área em estudo e respectiva comparação com as temperaturas médias medidas nos pontos do trabalho de campo.



#### 4.3.4.4. Manifestações Antigas

Recorrendo ao mapa das manifestações já existentes no local (Figura 3.6) e através das ferramentas do *ArcGis 9.3.1*, realizou-se um mapa de comparação entre as temperaturas medidas aquando do trabalho de campo e as manifestações antigas registadas na região.

Através da Figura 4.50 verifica-se que em algumas zonas, as temperaturas não são semelhantes. A altura do ano e a profundidade a que foram medidas as temperaturas poderão ser explicações para tal facto.

Na zona das Caldeiras da Ribeira Grande, área das Gramas, as temperaturas são muito semelhantes às já estudadas. Esta semelhança de temperatura valida o presente trabalho.

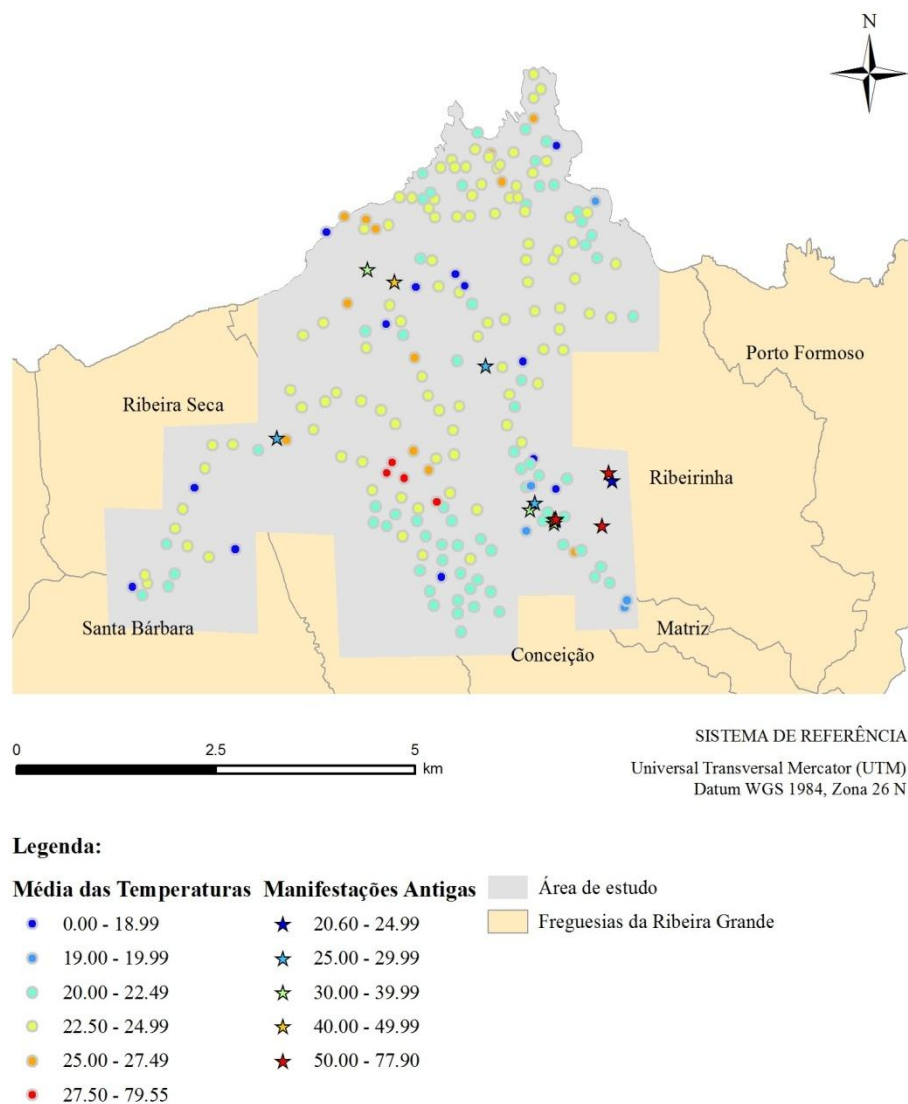


Figura 4.50 – Comparação entre as manifestações antigas e a média das temperaturas.

##### 4.3.5. Possíveis Utilizações da Geotermia

Recorrendo ao Diagrama de Lindal (Figura 1.3), e tendo por base o mapa de krigagem das temperaturas (Figura 4.51), propõem-se utilizações para as temperaturas existentes no local em estudo.

Antes de se aplicar qualquer uso consoante as temperaturas do solo, criou-se um mapa de exclusões. Neste mapa constam áreas já definidas para uma construção de infra-estruturas, ou locais onde se possa aplicar a geotermia de baixa entalpia.

O mapa foi criado através do *software ArcGis 9.3.1*, e apresenta a delimitação da área em estudo, os caminhos, as estradas, os edifícios, as falhas, a hidrografia e o monumento natural como as áreas excluídas (os *shapes* excluídos estão representados a branco). Para uma melhor percepção da temperatura nos locais de possível utilização do calor da Terra, cruzou-se essa informação com o mapa da estimação por krigagem.

Maioritariamente a área em estudo tem temperaturas que rondam os [22,50 – 24,99] °C, com um foco, em que temperatura varia entre os [27,50 – 64,78] °C. Nesta zona existem manifestações naturais de geotermia desde longa data, nomeadamente no Pico que Arde situado a Sul da área de estudo. No ponto com a temperatura mais elevada já existe um furo geotérmico que transporta o vapor do calor da Terra para a central geotérmica. Tirando este foco, só nas Caldeira da Ribeira Grande existem termas, uma das utilizações da geotermia de baixa entalpia.

Consultando o diagrama de Lindal, as temperaturas de [20 – 24,99] °C podem ser utilizadas para a aquacultura, aquecimento de piscinas e BCG. Para exploração geotérmica é necessária a realização de furos com uma profundidade superior a 0,60 m. Entre as utilizações potenciais destacam-se o aquecimento de habitações e de piscinas.

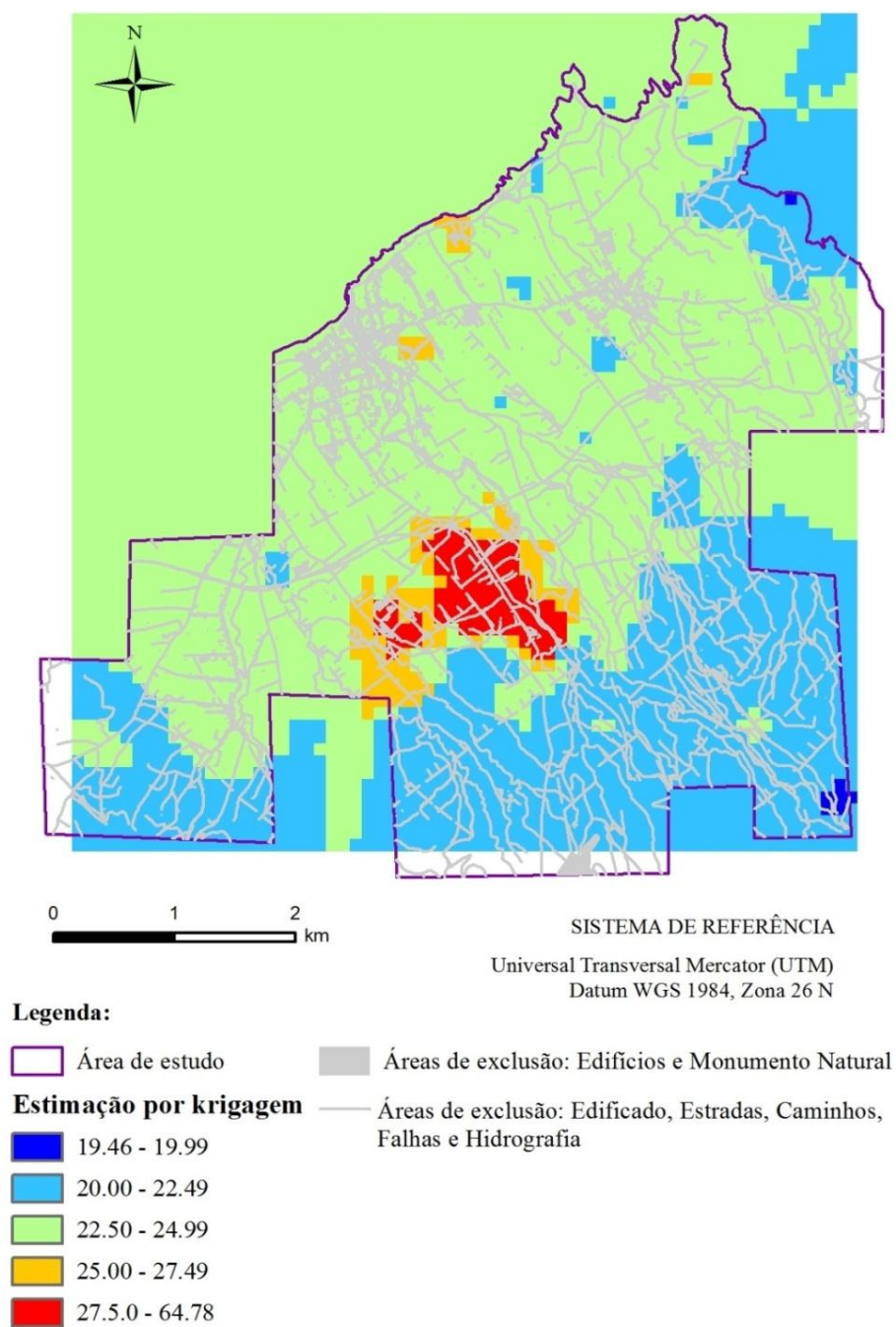


Figura 4.51 – Mapa de exclusão da área final de estudo.

### 5. Considerações Finais

O Concelho da Ribeira Grande tem um grande potencial para as energias renováveis, nomeadamente a energia geotérmica com manifestações de baixa e alta entalpia directamente relacionadas com o Complexo Vulcânico do Fogo.

As zonas públicas para aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia restringem-se à zona balnear da Caldeira Velha e às termas da Ribeira Grande. Em 2004 a Caldeira Velha passou a ser classificada como Monumento Natural Regional, melhorando-se então o acesso à caldeira e a área em redor, de forma a ser mais convidativa a turistas e a residentes. No entanto, tem-se vindo a verificar uma diminuição da temperatura da água na caldeira de zona balnear, fazendo com que o público procure caldeiras mais quentes e de difícil acesso.

Durante o trabalho de campo foram visitados, observados e avaliados os recursos anteriores que utilizavam as manifestações geotérmicas.

As termas das Caldeiras da Ribeira Grande, embora abertas ao público, não têm actualmente condições suficientes para se fazer algum tipo de tratamento terapêutico ou, simplesmente, usufruir de água quente. Considera-se que seria de grande interesse para a cidade da Ribeira Grande ampliar ou transformar as estruturas das termas já existentes no local e aproveitar melhor a zona em termos turísticos.

Por outro lado as águas de Porto Formoso, mais propriamente da Ladeira da Velha, são águas com características terapêuticas muito próprias, diferentes das existentes nas Caldeiras da Ribeira Grande, mas em adiantado estado de degradação e a merecer uma considerável intervenção. Pensa-se que seria interessante criar uma zona de lazer e desenvolver o turismo nesta área aproveitando os recursos naturais existentes

Além das manifestações referidas no Concelho da Ribeira Grande, e para estudar o potencial geotérmico de baixa entalpia desta na região realizou-se uma campanha de medição das temperaturas do solo, segundo uma malha de 200 furos e seguindo a metodologia descrita anteriormente. As temperaturas foram medidas após a abertura dos furos a seco e sistematicamente, com uma semana de intervalo, durante quatro semanas no líquido condutor presente nos furos. Desta operação, independentemente de alguns contratempos, resultaram aproximadamente 1000 registos da temperatura do solo a 0,60 m. A média das temperaturas em cada uma das 5 fases de medição no campo está demonstrada no gráfico da Figura 6.1, verificando-se um aumento pouco significativo de 0,6°C

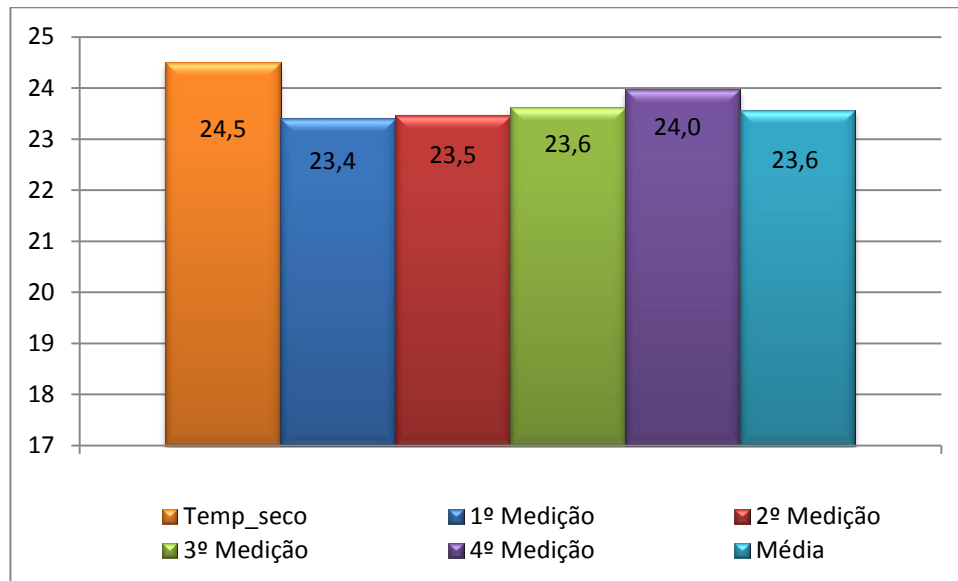


Figura 5.1 – Média de cada uma das fases realizadas no campo, e da média geral das quatro últimas medições da temperatura (°C).

As temperaturas não estabilizaram como pretendido, mas também não sofreram oscilações bruscas, podendo considerar-se que o trabalho foi bem sucedido.

Quanto à variação da média da temperatura a seco e da média (a média das quatro medições), obteve-se uma diminuição de 1°C. A primeira medição, aquando da realização do furo, a temperatura a seco, foi medida directamente no terreno, podendo ter tido alguma influência da temperatura ambiente.

As médias das temperaturas foram todas superiores a 20°C, significando que a área em estudo tem potencial como geotermia de baixa entalpia, confirmando o objectivo inicial deste trabalho.

Ao longo do trabalho foram descritas e comparadas várias condicionantes como a temperatura ambiente, a precipitação, a litologia, as falhas e as manifestações antigas. Todas essas condicionantes têm influência no solo, embora algumas só tenham interferência até determinada profundidade.

A precipitação condicionou a temperatura do solo, uma vez que os terrenos que se encontravam húmidos e com vegetação densa e molhada, apresentavam sempre temperaturas mais baixas.

A litologia e a temperatura do ar são duas condicionantes que dependem da profundidade a que a temperatura foi medida. Comparando a distribuição da temperatura do solo com a litologia não se obteve nenhuma correlação. Independentemente do substrato litológico variar na área em estudo, a distribuição das temperaturas do solo foi homogênea não havendo diferenciação. Acredita-se que com furos mais profundos, que atingissem as diferentes litologias, os resultados fossem diferentes devido às diferentes condutibilidades térmicas que as rochas apresentam.

Relativamente à temperatura ambiente o efeito é contrário, pois quanto mais próximo da superfície forem efectuadas as medições, maior influência esta tem na temperatura do solo. A 0.60 m de profundidade considera-se que a sua influência não é muito grande, mas não é nula.

As falhas são um forte condicionante na temperatura do solo. Os furos que se situavam próximo ou em zonas de falha, como por exemplo o furo P141, apresentaram sempre elevadas temperaturas ao longo de toda a fase de registos no campo.

À profundidade a que as temperaturas foram medidas não existe uma grande variedade de utilizações para a energia geotérmica. Para tal era necessário realizar furos mais profundos, onde seriam esperadas temperaturas mais altas.

Em relação às zonas anómalas, o pico de maior temperatura situa-se perto da central geotérmica do Pico Vermelho, com várias manifestações geotérmicas, que influenciam as temperaturas no local.

Após este trabalho experimental no campo, considerado um meio de prospecção expedito e com resultados provisórios mas indicativos, confirma-se o potencial da região da Ribeira Grande para produção de energia geotérmica de baixa entalpia. As utilizações que se propõem, a título provisório, estariam relacionadas com o aquecimento de água em piscinas, balneários municipais, aquecimento de água para utilização doméstica e industrial, aquacultura e estufas.

Em futuros trabalhos de prospecção, com furos mais profundos, seria quase garantido que se atingiriam temperaturas que reforçariam estas utilizações e, idealmente, se poderia apostar em aplicações para produção de energia eléctrica não poluentes.

Como consideração final salienta-se que estes trabalhos de investigação se revestem de grande importância, considerando-se que o uso de energia geotérmica de baixa entalpia traria um desenvolvimento sustentável, com benefícios energéticos, económicos, sociais e turísticos, para a região.





## 6. Bibliografia

### 6.1. Referências Bibliográficas

- Almeida, J.A. (2007). Apontamentos da disciplina de Geoestatística e Tratamento de Dados, FCT-UNL;
- Amaral, J. L. (2008). Climatic changes: the use of renewable energies in the Azores. Regional Director of Commerce, Industry and Energy – Azores. Palma de Maiorca;
- Assembleia da República, Lei n.º 3/2004 estabelece o regime jurídico a que fica sujeito o licenciamento da instalação e da exploração dos centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos (CIRVER), aprovado em 03 de Janeiro de 2004, Ministério Das Cidades Ordenamento Do Território E Ambiente. Diário da República, 1.a série - N.º 2- 3 de Janeiro de 2004;
- Assembleia da República, Lei n.º 172/2006 desenvolve os princípios gerais relativos à organização e ao funcionamento do sistema eléctrico nacional (SEN), aprovados pelo Decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de Fevereiro, Ministério da Economia e Inovação. Diário da República, 1.a série — N.º 162 — 23 de Agosto de 2006.
- Barbosa, S. (2009). Apontamentos da disciplina de Geologia Económica e Recursos Energéticos, FCT-UNL;
- Bertani, R. (2009). Long-term projections of geothermal-electric development in the World. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG;
- Bertani, R., (2007). World geothermal power generation in 2007. *Proceedings of the European Geothermal Congress 2007*, Unterhaching, Germany, 30 May – 1 June 2007;
- Bertani, R., (2005). World geothermal power generation in the period 2001-2005. *Geothermics*, 34, 651-690;
- Cabeças, R., Carvalho, J. M., Nunes, J.C. (2010). Portugal Geothermal Update 2010. *Proceedings World Geothermal Congress*. Bali, Indonésia;
- Carvalho M.R *et al.* (2006). Chemical composition of deep hydrothermal fluids in the Ribeira Grande geothermal field (São Miguel, Azores). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 156, 116–134 pp;
- Carvalho, A. H. (1955). Estudos Analíticos de Águas Termiais. Análise da Água da Ladeira da Velha, 139 – 145 pp. Lisboa;
- Carvalho, J. M., Nunes J.C. (2010). An Overview of Geothermal Energy Developments in Portugal. *GEOFAR – A European Solution for Geothermal Energy Projects in Portugal*. Lisboa;

- Chambers, T., Matthews A. (2009). The proposal development of the geothermal resources in the Chaves region. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG;
- Cruz, J. V. (2001). Recursos subterrâneos. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores. Relatório Técnico – Científico 03/DGUA/01, Universidade dos Açores. Ponta Delgada;
- Cruz, J. V. (2004). Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. SRA, Ponta Delgada;
- Dickson, M. J., Fanelli, M. (2004). What is Geothermal Energy?. Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR , Pisa, Italy;
- Dumas, P. (2009). Geothermal market development in Europe and EC financing tools. European Geothermal Energy Council. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG;
- Forjaz (1999). Alguns Vulcões da Ilha de S. Miguel. Observatório Vulcanológico dos Açores. Ponta Delgada;
- Forjaz, V. H. (1994). Geologia económica e aplicada da Ilha de S. Miguel – Recursos Vulcanogeotérmicos. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores;
- Forjaz, V.H., 1988. Azores study tour: field tripe guide. Seminar on the prediction of earthquakes. Econ. Comm. for Europe, U.N. Lisbon, 36 pp;
- França, Z., Cruz, J. V., Nunes, J. C., Forjaz, V. H. (2003) - Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. Açoreana, Vol 10, nº1, pp. 11-140;
- Freire, P. (2006). Águas minerais da Ilha de S. Miguel (Açores: Caracterização hidrológica e implicações para a monitorização vulcânica. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores;
- Fridleifsson, I.B. and Ragnarsson, A., 2007: Geothermal Energy, *2007 Survey of Energy Resources*, 427-437. World Energy Council.
- Frutuoso, G. (2005). Saudades da Terra – Livro IV. Instituto Cultural de Ponta Delgada – 2º Tiragem. Ponta Delgada;
- Gomes, L. (2010). Low-enthalpy Geothermal Energy and Thermalism: The Case Study of São Pedro de Sul. GEOFAR – A European Solution for Geothermal Energy Projects in Portugal. Lisboa;

- IGM (1999). Estudos dos Relatórios Hídricos Subterrâneos da Ilha de S. Migue – Açores. Relatório Final. Instituto Geológico e Mineiro. Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia dos Açores – Secretaria Regional da Economia;
- Lindal, B. (1973). Industrial and other applications of Geothermal Energy. In: ARMSTEAD H. C. H., Geothermal Energy, UNESCO, Paris;
- Livro, M. (2006). ECOTECA da Ribeira Grande, “Percurso da Energia” – Das Caldeiras da Ribeira Grande à Central da Fajã Redonda. Edição: Amigos dos Açores, ECOTECA Ribeira Grande, Governo dos Açores, Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. Ponta Delgada;
- Lourenço, M. C., Cruz (2005). Recursos Geotérmicos de Baixa Entalpia em Portugal Continental. XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros. Ponta Delgada;
- Lund, J.W., Freeston, D.H., and Boyd, T.L., 2005: Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. *Geothermics* 34, 691-727;’
- Martins Carvalho, J., Carvalho, M. R. (2004). Recursos Geotérmicos e o seu aproveitamento em Portugal. Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Corunã. Vol. 29, pp.97-117;
- Monteiro, R. et all (2008). O Ordenamento do Território nos Açores: Política e Instrumentos. Secretaria Regional do Ambiente e Mar – Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos. Ponta Delgada;
- Moore, R.B. (1991). Geologic Map of São Miguel, Azores;
- Neves, L. F., Pereira, A. C. (2009). EGS potencial of the Beiras region, Central Portugal. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG;
- Pavão, S. (2010). Estudo do Potencial de Aproveitamento da Energia Geotérmica nos Açores. Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Leiria;
- Ponte, C. (2010). Geothermal Energy Situation at The Azores Islands: A Successful Case Study. GEOFAR – A European Solution for Geothermal Energy Projects in Portugal. Lisboa;
- Silva, R. (2009). Deep geothermal projects in the Lusitanian Basin, Portugal. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG;
- Soares de Sousa, Teodoro, H., Moura, M. *et al.* (2004). Ribeira Grande. Publicações & Publicidade, Lda. Ponta Delgada;

## 6. Bibliografia

---

- Soares, A. (2000). *Geostatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*. Ensino da Ciência e Tecnologia. IST, Lisboa;
- Teodoro, H.M.M. (2003). *Caldeiras da Ribeira Grande*. Edição: Museu da Ribeira Grande;
- Trota, A. N. (2009). *Geologia. Especialidade de Geodesia*. Universidade dos Açores.

### 6.2. Sítios da Internet

- Azores Web (2011) - [http://www.azoresweb.com/faial\\_pt.html](http://www.azoresweb.com/faial_pt.html);
- Câmara Municipal de Angra do Heroísmo (2011) - <http://www.cm-ah.pt/showNT.php?Id=80>;
- CAOP (2011) - [http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/versao2009\\_0.htm](http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/versao2009_0.htm);
- E-geo (2011) - <http://e-geo.ineti.pt/bds/termalbase/default.aspx#>
- Energia e Alternativa (2011) - <http://www.energiasealternativas.com/vantagens-energia-geotermica.html>;
- Energia Geotérmica ( 2010) - [http://energiageotermica\\_8g.blogs.sapo.pt/1149.html](http://energiageotermica_8g.blogs.sapo.pt/1149.html);
- Governo Regional da Madeira (2011) - <http://vp.gov-madeira.pt/conteudos.php?cont=Promo%E7%E3o%20da%20Utiliza%E7%E3o%20Racional%20da%20Energia%20e%20das%20Energias%20Renov%E1veis>;
- IGEOE (2010) - <http://www.igoe.pt/>;
- LNEG (2011) - <http://www.lneg.pt/divulgacao/noticias-institucionais/96>;
- Swisseduc (2011) - <http://www.swisseduc.ch/stromboli/perm-small/larderello/index-en.html?id=0>
- Wikipédia – Capelo (Horta) (2011) - [http://pt.wikipedia.org/wiki/Capelo\\_%28Horta%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Capelo_%28Horta%29);
- Wikipédia – Termas do Carapacho (2011) - [http://pt.wikipedia.org/wiki/Termas\\_do\\_Carapacho](http://pt.wikipedia.org/wiki/Termas_do_Carapacho);

**Anexo I** – Inventários dos furos executados no trabalho de campo  
(Localização geográfica e Temperatura a seco)

Identificação	Coordenadas UTM WGS84		Localização	T <sub>seco</sub> (°C)
	M	P		
R001	632933.64	4189902.49	Ribeirinha	21.5
R002	633019.03	4189717.04	Ribeirinha	18.6
R003	632930.11	4189606.76	Ribeirinha	24
R004	632825.96	4189228.03	Ribeirinha	25.6
R005	632226.93	4189181.68	Ribeirinha	22.1
R006	632192.23	4188983.19	Ribeirinha	30
R007	632389.77	4188939.20	Ribeirinha	29.1
R008	632913.53	4188696.69	Ribeirinha	29.2
R009	632675.11	4188939.79	Ribeirinha	26.6
R010	633217.72	4189028.11	Ribeirinha	27
R011	633090.72	4189079.70	Ribeirinha	24.3
R012	632933.70	4189354.32	Ribeirinha	28.8
R013	632952.08	4188837.59	Ribeirinha	22.8
R014	633087.49	4188841.33	Ribeirinha	23.8
R015	633006.62	4188534.79	Ribeirinha	22.3
R016	632837.59	4188311.93	Ribeirinha	19.5
R017	632627.40	4188395.79	Ribeirinha	27.8
R018	632536.26	4188588.55	Ribeirinha	25
R019	632709.98	4188536.47	Ribeirinha	24.7
R020	632736.32	4188389.22	Ribeirinha	24.7
R021	632474.13	4188756.81	Ribeirinha	26.4
R022	632510.92	4188795.32	Ribeirinha	26.2
R023	632369.33	4188887.08	Ribeirinha	29.8
R024	632275.87	4188556.61	Ribeirinha	31.4
R025	632158.74	4188419.69	Ribeirinha	28.3
R026	632031.79	4188544.36	Ribeirinha	24.9
R027	631763.76	4188760.19	Ribeirinha	24.7
R028	631902.61	4188853.98	Ribeirinha	30
R029	633531.78	4188103.05	Ribeirinha	24.6
R030	633394.09	4188149.22	Ribeirinha	24.9
R031	633492.91	4188222.65	Ribeirinha	17.6
R032	633606.11	4188209.09	Ribeirinha	26.6
R033	633710.92	4188350.14	Ribeirinha	18.8
R034	633666.09	4187934.13	Ribeirinha	25.6
R035	633192.22	4188549.82	Ribeirinha	24.4
R036	632442.13	4188193.33	Ribeirinha	25.8
R037	632127.33	4188168.53	Ribeirinha	25.3
R038	631965.39	4188156.68	Ribeirinha	28.7
R039	631684.79	4188149.10	Ribeirinha	26.3
R040	631678.91	4188378.38	Ribeirinha	29.9
R041	631539.54	4188378.00	Ribeirinha	24.3
R042	631635.16	4188453.83	Ribeirinha	27.5
R043	631611.01	4188266.92	Ribeirinha	28.8
M044	630942.91	4188008.69	Matriz	28.7
M045	630821.27	4188122.98	Matriz	21.8
M046	631245.31	4188396.73	Ribeirinha	29.1
M047	630549.80	4188155.97	Matriz	28.8
M048	631105.15	4188062.14	Matriz	26.6
M049	630796.73	4188005.44	Matriz	25
M050	631405.03	4188394.35	Ribeirinha	25.2
C051	633314.88	4184496.08	Matriz	26.3
C052	633103.34	4184551.23	Matriz	25
C053	633045.49	4184452.25	Matriz	21.5

Identificação	Coordenadas UTM WGS84		Localização	T <sub>seco</sub> (°C)
	M	P		
C054	633304.51	4184154.00	Matriz	21.4
R055	632835.16	4187629.62	Ribeirinha	26.6
R056	632860.81	4187827.96	Ribeirinha	21
R057	633177.43	4187636.08	Ribeirinha	26.3
R058	633234.36	4187745.22	Ribeirinha	25.6
R059	633456.03	4187406.28	Ribeirinha	23.4
R060	633730.28	4187656.15	Ribeirinha	24.3
R061	633577.29	4187815.22	Ribeirinha	23.7
R062	633426.26	4187839.59	Ribeirinha	23.2
R063	633963.78	4187584.42	Ribeirinha	23.5
M064	630321.92	4187968.92	Matriz	19.4
R065	632821.61	4188225.96	Ribeirinha	23.7
R066	632822.12	4188225.05	Ribeirinha	22
R067	632083.89	4188771.80	Ribeirinha	22.3
R068	631940.75	4188762.41	Ribeirinha	26.1
R069	631539.01	4188685.99	Matriz	24
M070	630288.84	4186861.59	Matriz	27
C071	630032.71	4186711.11	Conceição	22.6
M072	630829.52	4186558.80	Matriz	26.7
M073	630812.99	4186767.87	Matriz	23.4
M074	630589.29	4187101.28	Matriz	27.8
C075	631509.61	4187649.93	Matriz	24.3
C076	631654.37	4187620.49	Matriz	25.6
C077	631942.56	4187461.40	Ribeirinha	24.2
C078	631731.83	4187303.87	Matriz	27
C079	631998.25	4187237.23	Ribeirinha	22.3
C080	632066.16	4187318.17	Ribeirinha	20.5
C081	632157.54	4187095.20	Ribeirinha	24
C082	632354.44	4186865.29	Ribeirinha	25.2
C083	632229.76	4186694.95	Matriz	25.5
C084	632542.79	4186317.38	Matriz	17.8
C085	632793.94	4186395.74	Ribeirinha	22.7
C086	632988.33	4186126.95	Ribeirinha	20.5
C087	632782.27	4186164.32	Ribeirinha	22.7
C088	632620.52	4185986.28	Matriz	23.1
C089	632689.73	4185835.42	Matriz	21.2
C090	633444.39	4184067.47	Matriz	21.4
C091	633525.23	4184091.90	Matriz	21.8
C092	633698.09	4183766.36	Matriz	19.7
C093	633886.25	4183690.80	Matriz	16.4
C094	634066.65	4183385.75	Matriz	16.6
C095	633773.02	4183883.20	Matriz	18.7
C096	634100.35	4183480.03	Matriz	19.2
C097	632832.78	4184322.72	Matriz	21
F098	632503.71	4183336.10	Conceição	21
F099	632392.80	4183584.03	Conceição	21.6
F100	632221.21	4183725.87	Conceição	19.7
F101	632180.57	4183391.95	Conceição	21.4
F102	632135.48	4183625.22	Conceição	20.3
F103	632015.02	4183812.89	Conceição	22.3
F104	632016.50	4183094.89	Conceição	21
F105	631972.23	4183323.24	Conceição	21.6
F106	631973.42	4183477.71	Conceição	20.1

Identificação	Coordenadas UTM WGS84		Localização	T <sub>seco</sub> (°C)
	M	P		
F107	631673.91	4183418.36	Conceição	19.5
F108	631631.52	4183590.32	Conceição	17
F109	631768.41	4183766.39	Conceição	22
F110	631503.52	4183837.69	Conceição	20
F111	631538.84	4184031.25	Conceição	22.3
F112	631574.53	4184263.05	Conceição	22.5
F113	631784.77	4183967.36	Conceição	22.5
F114	631978.09	4184147.73	Conceição	21.5
F115	631781.96	4184158.15	Conceição	22.4
F116	632134.88	4183982.22	Conceição	23.1
S117	632214.71	4184587.16	Matriz	25.1
S118	632268.72	4184225.46	Conceição	19
S119	632396.22	4184086.31	Conceição	20.3
C120	632589.80	4185615.83	Matriz	22.8
C121	632778.77	4185410.77	Matriz	23.2
C122	632681.08	4185295.13	Matriz	23.7
C123	632770.85	4185082.92	Matriz	24.4
C124	632935.79	4185200.89	Matriz	22.1
C125	633344.72	4184964.56	Matriz	21.2
C126	633214.50	4184832.96	Matriz	22
C127	632999.43	4185001.82	Matriz	23.5
C128	632836.38	4184857.99	Matriz	20.9
C129	632892.11	4184875.84	Matriz	20.5
C130	632882.17	4185143.29	Matriz	22.8
P131	631459.25	4184449.58	Conceição	19.4
P132	631281.17	4184264.23	Conceição	21.2
P133	631191.15	4184524.85	Conceição	23.2
P134	631476.15	4184601.84	Conceição	20.1
P135	631264.71	4184728.56	Conceição	22.5
P136	630945.44	4184622.66	Conceição	24.7
P137	630905.39	4184818.11	Conceição	24.6
P138	631083.38	4184379.15	Conceição	26
P139	630917.71	4184428.31	Ribeira Seca	18.9
P140	631303.95	4184967.82	Conceição	55.7
P141	631150.20	4185160.52	Conceição	92.7
P142	631083.73	4185033.06	Conceição	63.6
P143	630775.59	4185166.27	Conceição	25.9
P144	630513.52	4185232.71	Conceição	24.5
P145	631897.88	4184451.36	Conceição	22.8
P146	631874.64	4184786.72	Conceição	23.2
P147	631609.89	4185065.81	Conceição	30
P148	631417.97	4185303.53	Conceição	29.5
P149	631191.79	4185635.04	Conceição	24.8
P150	631011.12	4185798.64	Conceição	22.4
C151	630760.09	4185910.26	Conceição	24
C152	630449.51	4186014.47	Conceição	25.6
C153	630311.32	4185905.91	Conceição	23.8
P154	631703.05	4185205.73	Conceição	25.2
F155	631930.23	4185256.54	Matriz	26
C156	631917.42	4185551.69	Matriz	20.7
C157	631738.10	4185797.61	Matriz	20.5
C158	632001.24	4185846.53	Matriz	21.1
C159	631609.05	4185974.36	Matriz	25.1



Identificação	Coordenadas UTM WGS84		Localização	T <sub>seco</sub> (°C)
	M	P		
C160	631528.07	4186205.22	Matriz	23.8
C161	631429.21	4186437.64	Matriz	27.8
C162	631292.41	4186717.86	Matriz	23.5
C163	631081.24	4186846.75	Matriz	22.8
R164	632567.00	4186909.41	Ribeirinha	23.3
R165	632944.83	4187002.45	Ribeirinha	23.4
R166	633260.39	4187043.93	Ribeirinha	23.1
R167	633633.70	4186977.55	Ribeirinha	23.8
R168	633901.25	4186933.80	Ribeirinha	23
R169	634180.79	4186949.15	Ribeirinha	21.9
R170	632860.58	4187358.10	Ribeirinha	23.9
R171	633253.26	4186789.78	Ribeirinha	23.5
R172	633302.26	4186527.90	Ribeirinha	23.5
R173	633052.82	4186540.82	Ribeirinha	24
R174	631966.91	4186400.93	Matriz	22.1
C175	630164.69	4185557.69	Conceição	22.9
P176	631803.49	4184616.32	Conceição	20.2
P177	631713.49	4184675.61	Conceição	55.7
PF178	631258.92	4186885.35	Matriz	22.6
PF179	631123.68	4187084.20	Matriz	26.3
PF180	631449.17	4187300.27	Matriz	23.2
Q181	628008.84	4183536.28	Santa Bárbara	20.7
Q182	627889.74	4183643.57	Santa Bárbara	23.6
Q183	628417.73	4183800.08	Santa Bárbara	22.9
Q184	628338.87	4183648.40	Santa Bárbara	22.1
Q185	628076.11	4183679.15	Santa Bárbara	25.8
Q186	628046.82	4183784.44	Santa Bárbara	25.2
Q187	628321.07	4184162.36	Santa Bárbara	22.1
Q188	628582.20	4184140.85	Santa Bárbara	24.9
Q189	628843.41	4184004.97	Santa Bárbara	24.7
S190	629175.05	4184105.12	Santa Bárbara	25.3
RS191	629817.71	4185441.84	Ribeira Seca	26
RS192	629475.89	4185307.89	Ribeira Seca	23.4
S193	629149.97	4185375.83	Santa Bárbara	21.3
S194	628894.92	4185370.91	Ribeira Seca	23.8
S195	628802.46	4185089.53	Santa Bárbara	24.5
S196	628665.79	4184850.31	Santa Bárbara	26.5
S197	628522.58	4184590.64	Santa Bárbara	24.4
S198	628421.39	4184349.83	Santa Bárbara	20.1
C199	630014.82	4185831.24	Conceição	23.5
C200	629869.83	4186044.76	Conceição	23.6



## **Anexo II** – Base de dados das temperaturas medidas

Identificação	1º Medição (°C)	2º Medição (°C)	3º Medição (°C)	4º Medição (°C)	T <sub>média</sub> (°C)
R001	25.8	23.7	22	24.4	22.51
R002	24.2	24.9	23.4	25.9	22.87
R003	24.6	25	22.7	25.7	22.81
R004	22.3	22.6	20.7	22.2	21.36
R005	21.5	21.8	22	21.9	21.27
R006	25.7	24.7	22.8	25.7	22.94
R007	26.1	25.8	25.4	25.1	23.44
R008	24.3	23.5	22.4	26.2	22.59
R009	23.5	23.2	23.4	25	22.40
R010	22				
R011	21.6	22.3	21.8	23.7	21.59
R012	26.4	27.5	25.7	24.8	23.63
R013	22.5	20.8	20.7	23.1	21.83
R014	24.9	23.8	21.1	24.6	22.87
R015	23.4	22	20.3	23.8	22.17
R016	22.4	20	21.3	22.8	21.74
R017	22.9	22.4	23.6	23.8	23.43
R018	24.9	25.9	24.8	24.8	24.83
R019	22.6	22.5	22.7	22.3	22.31
R020	22	23	22.2	22.9	22.31
R021	20.1	24.7	24.4	25.8	22.96
R022	21.7	22.6	22.2	24.1	22.33
R023	22.5	23.8	24.4	22.2	23.40
R024	24.8	24.9	22.7	25.6	23.39
R025	24.7	21.6	25.4	23.4	23.43
R026	17.5	24.1	21.8	24.1	21.76
R027	23	23	21.9	22.5	22.17
R028	23.3	25	23.1	24.9	23.01
R029	22.8	20.9	19.9	21.3	22.04
R030	22.4	22.6	21.5	23.6	22.79
R031	23	19.5	21.4	23.8	22.44
R032	21.3	22.8	22	24	22.79
R033	19.9	17.3	20.4	19.2	20.89
R034	21.8	20.7	22.6	22.4	22.41
R035	19.7	19.8	22.3	21.9	21.87
R036	26	22.3	22.6	25.3	24.11
R037	25.5	22	21.7	25.2	23.90
R038	25.2	22.9	24	26.6	24.51
R039	24.3	22.5	19.1	26	23.26
R040	25.1	23.3	23.9	26.7	24.27
R041	22.2	20.6	21.5	23.8	22.71
R042	23.2	23	20.7	22.3	22.87
R043	24.7	23.3	23	26.1	24.00
M044	25.3	25.9	26.5	26.2	24.60
M045	23.6	25.1	25.8	26.2	24.14
M046	26.1	20.5	26.9	25.4	23.89
M047	24.8	23.5	25.9	25.9	24.06
M048	24.9	26.5	24.4	23.7	24.00
M049	22.5	22	24.1	25.4	23.19
M050	24.2	21.8	24.3	25	23.37
C051	22.1	21.5	22.2	22.6	22.51
C052	19.4	22.4	22.2	22.9	22.30
C053	18.9	21.2	22	22.3	21.94
C054	20.4	19.7	21.9	22.3	21.93

Identificação	1º Medição (°C)	2º Medição (°C)	3º Medição (°C)	4º Medição (°C)	T <sub>média</sub> (°C)
R055	25.5	25.3	24.2	24.6	24.24
R056	22.1	22	23.6	23.5	23.20
R057	21.9	25.7	23.2	25.2	23.73
R058	21.2	24.6	22.3	25.1	23.33
R059	21.8	23.7	24.6	24.4	23.61
R060	21.5	21.8	21.4	21.7	22.46
R061	21.3	22.2	22.1	22.5	22.70
R062	22.4	21.8	23.7	24.3	23.29
R063	22.4	22.8	24.4	23.8	23.46
M064	21				
R065	24.3	20.2	25.3	25.9	23.66
R066	21.5	22.7	23.9	24.4	23.20
R067	25.9	18.8	26	26.4	23.80
R068	24.4	22.3	24.4	25.3	23.70
R069	19.9	22.3	23.3	23.6	22.66
M070	22.7	22.1	23.3	23.8	23.06
C071	23.3	22.6	22.6	23.5	23.40
M072	24.2	18.5	23.6	24.4	22.94
M073	22.1	20.9	22.9	23.6	22.77
M074	26.2	26	25.7	26.8	24.94
C075	17.3	21.6	22.3	23.7	22.70
C076	23.6	23.9	24.9	25.3	24.53
C077	24				
C078	23.5	23.8	23.8	24.7	24.26
C079	22.1	23.1	23.9	23.6	24.07
C080					
C081	22.1	20.1	21.3	21.1	22.91
C082	21.4	23.4	24.9	23.9	24.20
C083	23.2	24.8	25.1	23.4	23.84
C084	21.8	24.8	24.4	22	23.34
C085					
C086	21.8	24.3	22.9	22.1	23.03
C087	20.6	21.7	21	21.9	22.23
C088	21.4	23.7	23.9	22.5	23.13
C089	19.7	22.2	22.1	22	22.34
C090	17.5	20.5	21.8	43.7	24.16
C091	19.7	20.7	20.6	19.6	20.17
C092	19.3	21.1	21.6	20.6	21.17
C093	20.4	21.1	21.3	21.3	21.39
C094	18.4	19.1	20.3	19	20.34
C095	19.8	20.3	21.4	20.3	21.06
C096	19.7	19.4	20.6	19.6	20.70
C097	19.2	19.1	20.5	20.3	20.67
F098	20	21	21.3	20.6	21.34
F099	19.7	19.9	20.8	20.4	21.04
F100	19.5	21.1	21.8	21.8	21.53
F101	21.8	20.9	22.5	21.5	21.96
F102	21	20.7	21.3	20.7	21.53
F103	21.6	20.7	21.9	21.6	21.83
F104	20.7	19.8	21.1	19.8	21.13
F105	23	21.3	22	21.8	22.16
F106	20.9	21.3	21.7	21.4	21.69
F107	20.4	21.3	21.9	21.5	21.66
F108	20.9	22.3	22.9	22.2	22.11

Identificação	1º Medição (°C)	2º Medição (°C)	3º Medição (°C)	4º Medição (°C)	T <sub>média</sub> (°C)
F109	21.8				
F110	21	22.1	22	21.8	21.91
F111	23	23.5	23.2	21.9	23.39
F112	22	22.9	22.8	21.8	23.09
F113	19.7	21.9	22	21.3	22.43
F114	20	22.1	22.2	21.9	22.61
F115	19.3	23	22.9	22.4	22.81
F116	23.5	23.6	23.6	22.9	23.99
S117	25	23.4	24.1	22.8	23.91
S118	19.5	19.4	21.1	20.1	21.74
S119	21.4	22.4	21.9	21.6	22.77
C120	26.6	21.3	22.8	22.4	22.93
C121	22	23.8	24.1	22.4	22.69
C122	20.2	22.3	22.4	22.4	22.26
C123	20.9	20.5	21.6	21.4	21.84
C124	22.6				
C125	21.1	21.6	21.9	22	22.23
C126	22.6				
C127	22.1	20.3	21.6	22	22.14
C128	22.5	22	22.3	21.6	22.29
C129	18.9	19.3	20.6	19.9	20.74
C130	21.6	23.2	22.9	22.2	22.50
P131	22.3	22.6	21.8	22	23.20
P132	23.6	23.4	22.3	22.6	23.63
P133	23	22.3	22.9	20.7	22.90
P134	23.5	23.4	22.1	23.1	23.69
P135	23.2	23.4	21.9	22.5	23.50
P136	21	22.1	21.6	21	22.74
P137	24.9	24.8	22.9	23.7	24.26
P138	22.3	21.8	21.4	18.8	22.21
P139	22.8	22.1	22	20.1	22.65
P140	48.3	49.1	48.3	50.4	38.73
P141	76	80.1	79.3	82.8	56.17
P142	55.4	55.3	48.9	52.2	40.97
P143	23.9	24.8	23.9	24.3	24.56
P144	22.9	23.4	23.4	23.3	24.00
P145	21.5	21.6	22.2	21.8	23.37
P146	22.6	23.2	23.3	22.8	24.06
P147	26.9	25.8	26.5	26.6	26.04
P148	27.3	27.6	27.4	27	26.54
P149	23.6	23.6	23.4	23	24.30
P150	22.3	22.9	23.4	23	24.01
C151	22.3	22.8	23.6	22.9	24.01
C152	23.6	24.6	24.1	24.1	24.70
C153	22.9	22.5	23.9	23.1	24.13
P154	24.1	24.4	22.8	23.6	24.21
F155	24.6	24.8	24.2	24.3	24.64
C156	23.6	23.9	23.4	24.1	24.23
C157	23.6	24.1	24.6	22	23.99
C158	22.3	22.8	22.9	22.8	23.43
C159	26.2	25.1	23.6	25	24.73
C160	26.1	24.6	23.4	23.9	24.41
C161	25.3	25.6	25.2	25.3	24.90
C162	21.4	22.7	22.4	22.1	23.07

Identificação	1º Medição (°C)	2º Medição (°C)	3º Medição (°C)	4º Medição (°C)	T <sub>média</sub> (°C)
C163					
R164	23.8	23.8	23.9	23.3	24.26
R165	23.9	23.6	23.5	22.8	24.10
R166	23.9	23.8	24.1	24.1	24.40
R167	24	23.5	23.8	23.5	24.24
R168	23.8	23.6	23.4	23.2	24.13
R169	21.6	22	21.6	21.4	23.07
R170	23.7	23.5	23.5	23.3	23.59
R171	24.5	23.8	24.6	23.6	23.81
R172	23.7	23.4	23.5	22.1	23.27
R173	24.3	23.8	24.1	23.4	23.69
R174	21.9	22.6	22.4	21.5	23.44
C175	23.7	23.4	23.4	23.3	24.23
P176	20.6	21.4	21.1	20.6	22.14
P177	53.3	52.3	51.8	52.1	40.31
PF178	23.3	23.5	24.1	22.9	23.51
PF179	25.1	24.3	25.4	23.9	24.36
PF180	24.5				
Q181	21.1	21.8	21.5	20.4	22.43
Q182					
Q183	22.3	22.4	22.4	21.9	23.03
Q184	22.3	22.5	22.1	21.4	22.93
Q185	23.3	22.9	23.2	23.1	23.53
Q186	23.4	23.1	23.3	23.5	23.64
Q187	20.6	21.4	21.3	20.8	22.66
Q188	24.1	22.9	23.2	21.6	23.77
Q189	23.4	23.3	22.6	22.9	23.81
S190					
RS191	26.1	24.8	25.3	25.4	25.49
RS192	21.7	22.2	20.9	20.8	23.19
S193	23.9	23.7	23.6	23.6	24.57
S194	23.7	23.5	22.4	22.7	24.14
S195	24.6	24.3	23.3	22.9	24.54
S196	24.4	23.7			
S197	23.2	23	23.1	21.1	24.10
S198	24.1	23.3	22.9	23.8	24.63
C199	24.4	23.8	24.1	23.4	24.86
C200	23.8	23.4	24.2	23.1	24.69





## **Anexo III** – Lista de ocorrências termais Portuguesas (e-geo, 2011)

Nome	Distrito	Temperatura (°C)	Composição Iónica	Mineralização Total	Indicações Terapêuticas	Actividade
Banho de Alcafache	Viseu	51	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, metabólico-endócrinas, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas da Cavaca	Guarda	29	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelhos respiratório e digestivo, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Caldas da Felgueira	Viseu	36	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas da Rainha	Leiria	36	Sulfúrea, Cloretada Sódica	Hipersalina	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas da Saúde	Porto	30	Sulfúrea, Cloretada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas das Murtas	Porto		Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	---	Suspensa
Caldas das Taipas	Braga	32	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Aregos	Viseu	62	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Canaveses	Porto	35	Sulfúrea, Bicarbonatada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças da pele e metabólico-endócrinas.	Suspensa
Caldas de Chaves	Vila Real	76	Gasocarbónica, Bicarbonatada sódica	Hipersalina	Doenças do aparelho digestivo, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Manteigas	Guarda	48	Sulfúrea, Bicarbonatada-fluoretada, Sódica	Hipossalina	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Moledo	Vila Real	45	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Monção	Viana do Castelo	50	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Monchique	Faro	32	Bicarbonatada sódica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelhos respiratório e digestivo, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de S. Jorge	Aveiro	23	Sulfúrea, Cloretada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de S. Lourenço	Bragança	30	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Raramente mineralizada	---	

Nome	Distrito	Temperatura (°C)	Composição Iónica	Mineralização Total	Indicações Terapêuticas	Actividade de
Caldas de Sangemil	Viseu	50	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas de Vizela	Braga	62	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas do Carlão	Vila Real	29	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Caldas do Cró	Guarda	23	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Caldas do Gerês	Braga	47	Tiossulfatada, Bicarbonatada sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho circulatório, do aparelho digestivo e metabólico-endócrinas.	
Fadagosa de Nisa	Portalegre	25	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, metabólico-endócrinas, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas da Curia	Aveiro	19	Sulfatada, Cálcica	Hipersalina	Doenças metabólico-endócrinas, dos aparelhos circulatório e nefro-urinário, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas da Ladeira de Envendos	Santarém	22	Cloretada sódica	Hipossalina silicatada	Doenças do aparelho digestivo, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas da Longroiva	Guarda	34	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	---	
Termas da Piedade	Leiria	27	Cloretada sódica	Hipersalina	Doenças do aparelho digestivo, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas da Sulfúrea	Portalegre		Sulfúrea, Oxidrilada-cloretada, Sódica	Hipossalina	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas de Almeida	Guarda		Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	---	
Termas de Caldelas	Braga	33	Bicarbonatada cálcica	Hipossalina	Doenças do aparelho digestivo e da pele.	
Termas de Carvalhelhos	Vila Real	22	Bicarbonatada sódica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelhos circulatório e digestivo e da pele.	
Termas de Entre-os-Rios	Porto		Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas de Melgaço	Viana do Castelo		Gasocarbónica, Bicarbonatada, Cálcica	Hipersalina	Doenças do aparelho digestivo e metabólico-endócrinas.	

Nome	Distrito	Temperatura (°C)	Composição Iónica	Mineralização Total	Indicações Terapêuticas	Actividade de
Termas de Monfortinho	Castelo Branco	28	Bicarbonatada sódica	Hipossalina, Silicatada	Doenças do aparelho digestivo e da pele.	
Termas de Monte Real	Leiria		Sulfúrea, Sulfatada, Cálcica	Hipersalina	Doenças do aparelho digestivo, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas de Moura	Évora		Bicarbonatada, Cálcica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelho respiratório, da pele, metabólico-endócrinas, Reumáticas e musculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas de Pedras Salgadas	Vila Real	23	Gasocarbónica, Bicarbonatada, Sódica	Hipersalina	Doenças do aparelho digestivo e metabólico-endócrinas.	
Termas de S. Pedro do Sul	Viseu	69	Bicarbonatada, Sódica, Sulfúrea	Fracamente mineralizada	Doenças metabólico-endócrinas, do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas de S. Vicente	Porto		Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas de Unhais da Serra	Castelo Branco	37	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelhos circulatório e digestivo, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas de Vidago	Vila Real		Gasocarbónica, Bicarbonatada, Sódica	Hipersalina	Doenças do sistema nervoso, dos aparelhos respiratório e digestivo, e da pele.	
Termas do Carvalhal	Viseu	41	Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças dos aparelhos respiratório e digestivo, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas do Eirogo	Braga	25	Sulfúrea, Cloretada Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas do Estoril	Lisboa	35	Cloretada sódica	Hipersalina	Doenças do aparelho respiratório, da pele, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas do Luso	Aveiro	27	Cloretada sódica	Hipossalina silicatada	Doenças dos aparelhos circulatório, respiratório e nefro-urinário, reumáticas e músculo-esqueléticas.	
Termas do Monte da Pedra	Portalegre		Sulfúrea, Bicarbonatada, Sódica	Fracamente mineralizada	Doenças do aparelho respiratório, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas do Vale da Mó	Aveiro		Bicarbonatada magnesiana	Hipossalina	Doenças do sangue e do aparelho digestivo.	
Termas do Vale dos Cucos	Lisboa	40	Cloretada sódica	Hipersalina	Doenças metabólico-endócrinas, reumáticas e músculo-esqueléticas.	Suspensa
Termas do Vimeiro	Lisboa	26	Cloretada sódica	Hipersalina	Doenças dos aparelhos circulatório, respiratório, digestivo e da pele.	